

Université de Zagreb
Faculté des sciences humaines et sociales
Département d'études romanes

Hrvoje Jedvaj

**TRAVAIL TERMINOGRAPHIQUE :
LES MOTEURS À COMBUSTION INTERNE**

Mémoire de Master
en langue et lettres françaises
Filière traduction

Directrice de recherche : Dr. sc. Evaine Le Calvé Ivičević

Décembre 2015

Table des matières

1. Introduction.....	3
2. Terminologie et terminographie.....	4
3. La méthodologie du travail.....	9
4. Traduction.....	15
5. Glossaire.....	70
6. Arborescence.....	74
7. Fiches terminologiques.....	75
8. Conclusion.....	87
9. Résumé.....	88
10. Sažetak.....	89
11. Bibliographie.....	90
Annexe : Textes originaux.....	92

1. Introduction

Le mémoire de master que nous présentons a pour but d'employer toutes les connaissances relatives à la terminologie acquises pendant nos études en filière traduction. En utilisant ces connaissances nous allons traduire un texte spécialisé concernant le domaine de l'industrie automobile ou plus précisément les moteurs thermiques. Après avoir fait la traduction, nous allons analyser un corpus de textes concernant ce domaine avec l'aide de l'approche scientifique de la terminographie et montrer en quoi ce texte est différent des textes non-spécialisés ou généraux. Lors de la traduction des deux types de textes le traducteur rencontre des différentes difficultés, comme nous allons le voir, mais dans les textes en langues de spécialité nous avons une approche un peu différente. Nous allons présenter les termes trouvés dans notre corpus sur l'arbre analogique ou arborescence pour montrer comment sont liées les notions relatives à notre domaine. À côté de cela nous allons analyser les termes en utilisant les fiches terminologiques, qui nous aideront à présenter les termes d'une manière systématique et précise. Ces fiches terminologiques, mais aussi le glossaire dans lequel nous allons faire figurer les termes repérés dans notre corpus, seront présentés en deux langues, français et croate. Finalement, ce travail terminographique nous aidera à améliorer nos compétences en traduction et à approfondir les connaissances linguistiques dans le domaine choisi, à savoir l'industrie automobile.

2. Terminologie et terminographie

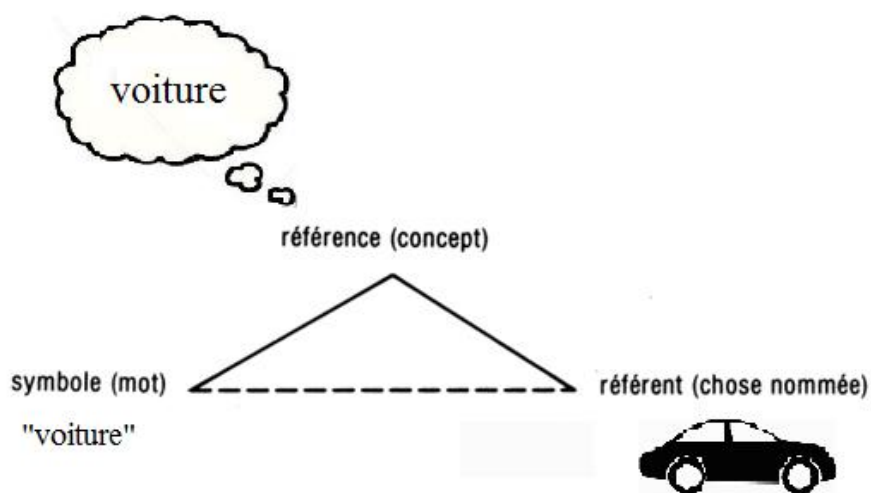
Le but de la partie théorique du présent travail est de présenter le processus de réalisation du travail terminographique et toutes les étapes comprises. Mais, avant de commencer cette présentation il serait nécessaire d'expliquer la signification de plusieurs notions auxquelles est strictement lié notre travail – la terminologie et la terminographie. Ce sont deux disciplines qu'il faut distinguer des deux sciences un peu plus connues que celles susmentionnées – la lexicographie et la lexicologie.

La question inévitable dans cette partie du travail concerne la terminologie – l'une des disciplines les plus importantes qui concernent la traduction. Même si le traducteur n'est pas toujours conscient de son rôle, les résultats du travail des terminologues sont là pour aider. Mais, il convient d'expliquer ce qu'est la terminologie. Dans sa première acception, la terminologie est « un ensemble de mots techniques appartenant à une science, un art, un auteur ou un groupe social » (Pavel et Nolet 2001 : XVII). Il faut savoir que si on parle d'une science, tous les termes qui forment sa terminologie doivent être strictement définis et non ambigus. On peut parler de la terminologie de la terminologie de la médecine, du théâtre, de la chimie, de la physique mais aussi connaître la terminologie d'une certaine science, une activité ou bien créer sa propre terminologie etc. Dans sa deuxième acception la terminologie est définie comme une « discipline linguistique consacrée à l'étude scientifique des concepts et des termes en usage dans les langues de spécialité. » (Pavel et Nolet 2001 : XVII). C'est justement cette discipline qui aide à créer la liste des termes pour les sciences ou activités qui ont besoin d'un vocabulaire particulier, bien défini et sans ambiguïté, à la différence de la langue commune que l'on utilise chaque jour où la polysémie est toujours présente.

Il est nécessaire de savoir que la terminologie s'accompagne de la terminographie, et les deux disciplines dépendent l'une de l'autre – la terminologie est l'aspect théorique tandis que la terminographie est l'aspect pratique de la réalisation de produits terminologiques. Comme presque toujours dans ce type de relation, ces deux aspects, même s'ils sont liés, ne sont pas équivalents, vu que les règles se créent à partir de la pratique et la terminologie dépend des résultats de la terminographie qui compile et gère des termes. La terminologie/terminographie trouve ses racines dans une discipline semblable, mais plus ancienne, qui s'appelle

lexicographie. Récemment le terme lexicographie spécialisée a été utilisé pour décrire cette discipline qui est consacrée « au recensement et à l'étude des mots d'une langue donnée considérés dans leur formes et leurs significations » (Pavel et Nolet 2001 : XVII). Cette définition nous découvre que les deux disciplines, la terminologie et la lexicographie, sont très étroitement liées l'une à l'autre, que les deux ont un aspect théorique et un aspect pratique qui ne devraient pas être considérés comme des disciplines indépendantes, et finalement que la terminologie est très utile pour aider les sciences à se créer un vocabulaire normatif, tandis que la fonction de la lexicographie est plutôt de décrire un vocabulaire.

Après avoir défini ces disciplines, le prochain élément constitutif et fondamental qui doit être décrit est le terme. Il y a plusieurs définitions du mot terme et nous allons proposer quelques-unes dans ce travail. Dans le *Précis de terminologie* de Silvia Pavel et Diane Nolet le terme est défini comme un « mot, syntagme, symbole ou formule désignant un concept propre à un domaine d'emploi » (Pavel 2001 :117) et dans le même ouvrage les auteurs proposent la dénomination « unité terminologique ». D'après D. Gouadec le terme est « une unité linguistique désignant un concept, un objet ou un processus » et « l'unité de désignation d'éléments de l'univers perçu ou conçu » (Gouadec 1990 :3). Le terme est d'un emploi plutôt monosémique tandis qu'un mot s'oppose au terme ou il constitue une unité lexicale du vocabulaire général, et est le plus souvent polysémique. Chaque terme est composé de plusieurs éléments qui sont présentés graphiquement dans le triangle d'Ogden et Richards (Delbecque 2006 : 51).



Prenons un exemple tiré de notre glossaire pour expliquer les éléments constitutifs du terme, comme par exemple *vilebrequin*. Dans ce cas, le symbole (mot) serait la représentation graphique v-i-l-e-b-r-e-q-u-i-n, la référence serait la représentation mentale de l'objet que l'on connaît comme vilebrequin, pendant que le référent serait l'objet lui-même.

En ce qui concerne les différents niveaux de la langue, il est clair qu'il y a plusieurs caractères qui les distinguent. Par exemple, le lexique de la langue générale est polysémique et la plupart des mots ont plusieurs significations qui peuvent changer au fil du temps et nous avons aussi des différences dialectales. À cause de ces changements, dans ce type de langue la communication est quelquefois difficile vu qu'il y a moins de cohérence. Par ailleurs, la langue de spécialité doit toujours être précise et monosémique. Bien sûr, ce n'est pas vraiment une langue mais plutôt une terminologie qui a certaines règles internes différentes de la langue générale vu que son but est d'être le plus précise possible. Elle est utilisée généralement par un groupe de spécialistes qui ont besoin d'un moyen de communication sans ambiguïtés et universel. Mais il faut souligner que la terminologie dans la vie réelle n'est pas toujours suffisamment univoque. Par exemple, si une langue de spécialité n'est pas suffisamment cohérente et si deux mécaniciens auto utilisent des appellations différentes pour le même objet, cela peut conduire facilement à des problèmes de communication, et par conséquent à des accidents. En plus, assez souvent un même terme adopte différentes significations dans plusieurs disciplines indépendantes, comme nous allons le voir dans le chapitre suivant.

D'après Mihaljević et Hudeček (2009 : 24-29) il y a plusieurs types de polysémie, comme nous allons le voir sur des exemples de notre corpus. Un même mot peut exister dans la langue générale et dans la langue de spécialité avec deux significations différentes. Par exemple, le mot *jupe* dans la langue générale désigne une « partie de l'habillement féminin qui descend de la ceinture à une hauteur variable », tandis que dans le domaine de la mécanique la signification est très différente : « Surface latérale d'un piston, qui s'adapte à la paroi interne du cylindre ». Par ailleurs, quelquefois un même terme a des significations différentes dans des domaines différents, comme par exemple *segment* :

- économie : *Population (d'individus, d'organisations) présentant des caractéristiques communes;*
- linguistique : *Unité discrète minimale, dans certaines techniques d'analyse;*

- informatique : *Partie (d'un programme) dont l'exécution ne requiert pas la disponibilité en mémoire des autres parties du programme;*
- mécanique : *anneau élastique logé dans la paroi d'un piston et destiné à assurer l'étanchéité dans le cylindre.*

Finalement, dans la même langue de spécialité, un même terme adopte des désignations différentes, comme par exemple *alésage*. Ce terme porte une double signification, « opération consistant à parachever, en calibrant exactement les dimensions, les trous qui traversent une pièce mécanique » et « diamètre d'un cylindre ». Cette polysémie rend difficile le travail du terminologue, étant donné que dans une langue spécialisée, qui est censée être précise, claire et n'avoir aucune ambiguïté, nous avons le même terme dans deux significations différentes.

Une difficulté qui s'est présentée plusieurs fois dans notre travail était les différences entre les divisions et classifications en croate et en français. Par exemple, en français on peut classer les moteurs thermiques en deux catégories : *moteurs à explosion* (essence) et *moteurs à combustion* (Diesel). Mais, en croate on utilise la notion *motori s unutrašnjim izgaranjem* pour les moteurs à essence et les moteurs diesel. Même si dans les moteurs à essence il y a une explosion des gaz brûlés, en croate on préfère utiliser le terme *motori s unutrašnjim izgaranjem* plutôt que *motori s eksplozijom*.

D'après ce que nous avons vu avec les exemples précédents, il est clair que la langue de spécialité est loin d'être parfaitement cohérente comme la décrivent les spécialistes, mais qu'elle a des caractéristiques comme l'univocité, la cohérence et la monosémie, qui la distinguent de la langue générale, employé par le grand public.

En ce qui concerne la traduction des textes spécialisés et des textes littéraires, le traducteur doit toujours avoir une approche différente. Le langage technique qui relève du domaine de l'industrie automobile nous donne quelques difficultés lors de sa traduction surtout dans les cas où il n'y pas de cohérence suffisante dans les deux langues de spécialité, comme par exemple les différences dans la classification des moteurs en français et croate. Dans ce cas, chaque langue a sa propre classification logique, mais elles ne sont pas comparables – ce qui rend la traduction

plus compliquée. Mais, généralement, l'univocité, l'exactitude de la terminologie et la netteté rigoureuse du langage technique nous ont aidé à trouver le meilleur équivalent lors de la traduction. D'une contraire manière, il existe un relatif manque de liberté qui en même temps facilite le processus de traduction des textes spécialisés à différence des textes littéraires où le traducteur est obligé de respecter le style caractéristique d'un auteur. Le langage utilisé dans ce type de traduction peut être poétique – trait inexistant dans la langue de spécialité.

Les notions essentielles étant définies, nous allons décrire la méthodologie qu'il faut suivre pendant la rédaction d'un travail terminographique, puis expliquer comment cette méthodologie a été appliquée dans le présent travail.

3. La méthodologie du travail

Il y a plusieurs étapes qu'il faut suivre pendant la rédaction d'un travail terminographique. Avant tout, il est important de choisir le domaine de notre travail ; ensuite de créer un corpus qui devra être traduit ; dans ce corpus il faut puiser les termes pour établir un glossaire, bilingue en l'occurrence. Certains termes du glossaire seront décrits en utilisant des fiches terminologiques et leurs relations seront présentées sous forme arborescente.

3.1. Le domaine de travail

Dans la création d'un travail terminographique il est essentiel de délimiter le domaine avant toute chose, afin de le décrire en réunissant les termes qui en relèvent et qui seront à analyser. Un domaine correspond à un champ de l'activité humaine, un savoir particulier qui est organisé et qui a sa propre terminologie. Dans notre cas les termes relèvent de plusieurs domaines qui sont assez proches les uns des autres. Nous avons décidé de choisir comme domaine principal la mécanique, étant donné qu'il s'agit d'une science relative aux moteurs à combustion interne, mais aussi à plusieurs éléments constitutifs de la voiture. Bien sûr, sachant que la mécanique est une science trop vaste, il fallait réduire l'objet de notre domaine ou délimiter en sous-domaines et dans notre cas nous avons choisi l'automobile comme sous-domaine. Même si le titre de notre travail pourrait donner à penser qu'il s'agit de tous les moteurs à combustion interne, qui sont intégrés dans les voitures mais aussi dans les motos, les camions, les autocars etc., dans notre travail nous nous sommes concentrés sur les moteurs qui font partie des voitures. Mais il est essentiel de savoir que, pour expliquer le fonctionnement du moteur à combustion interne, la connaissance de la mécanique n'est pas suffisante. Comme nous l'avons vu il y a d'autres champs d'activité humaine qui s'y joignent. Peut-être le champ le plus important, après la mécanique, est-il la métallurgie, qui concerne la construction des moteurs ; il ne faut pas non plus ignorer l'importance de la physique et de la chimie, qui sont étroitement liées avec le fonctionnement des moteurs à combustion interne mais aussi des voitures en général. Malgré tout

cela, il nous a fallu déterminer les marques d'un domaine et sous-domaines, et travailler dans ce champ d'activité vu que le nombre de domaines qui y sont liés est assez grand.

3.2. Le corpus

Chaque travail terminographique a besoin d'un corpus qui sert comme base pour la description du domaine à analyser. D'après Pavel et Nolet (2001 : 106) le corpus est un « ensemble limité de textes » qui nous sert pour les traductions, pour la création du glossaire et l'arbre analogique. Tous les corpus se distinguent d'après leur longueur, leur forme, leur langue mais aussi le public auquel est destiné le produit terminologique. Dans notre cas, nous avons choisi plusieurs textes de différentes longueurs, en français, dont quelques-uns sont des textes journalistiques et les autres sont des livres spécialisés. Dans notre corpus il y a des textes destinés aux spécialistes de la matière comme par exemple le livre intitulé *La préparation des moteurs* par Michel Patrick qui explique déjà dans l'introduction à quel public le livre est destiné. Nous avons aussi des textes ou livres écrits par des spécialistes mais destinés aux non-spécialistes comme par exemple *Technologie fonctionnelle de l'automobile* par Hubert Mèmeteau, conçu comme un manuel pour les non-spécialistes, qui a servi comme base pour la traduction dans le cadre de notre travail terminographique. Finalement, nous avons un ensemble de textes plutôt journalistiques et populaires écrits par des spécialistes et non-spécialistes qui sont destinés au grand public et qui doivent être facilement abordable par les gens sans connaissances de la matière. Ce sont les trois niveaux qui doivent être abordés dans le travail sur le corpus pour qu'il soit pertinent pour l'analyse terminographique et à l'aide de tous ces textes nous allons repérer les termes qui seront analysés dans les fiches terminologiques.

3.3. La fiche terminologique

La fiche terminologique est la représentation des données terminologiques. La fiche terminologique doit permettre à l'utilisateur qui la consulte de bien comprendre le concept qu'on y décrit et d'utiliser adéquatement le(s) terme(s) qui désigne(nt) ce concept (Francoeur 2015 : 24). Chaque fiche terminologique est constituée de plusieurs champs qui sont adaptés aux besoins du

terminologie et qui « réunissent les informations principales sur les termes tant du point de vue de la dénomination que du point de vue du concept » (Pitar 2011 : 70). Même si toutes les catégories ne sont pas toujours présentes dans les fiches terminologiques, il y a des catégories que l'on considère essentielles et qui doivent faire partie de chaque fiche terminologique. Il faut aussi ajouter que les catégories que nous trouvons dans les fiches terminologiques peuvent se diviser en deux sortes : celles qui concernent le terme et celles qui concernent le concept. Dans nos fiches terminologiques nous avons les catégories suivantes :

-Concernant le terme : terme, catégorie grammaticale, synonyme, contexte, source du contexte.

-Concernant le concept : domaine, sous-domaine, définition, collocation, hyperonyme, hyponyme.

Vu qu'une partie de notre travail comprend une traduction du français en croate, les fiches terminologiques seront aussi bilingues et certaines catégories seront doublées. Les termes analysés dans les fiches terminologiques sont représentés dans une forme arborescente afin de montrer leurs interconnexions.

Voici la forme de la fiche terminologique que nous allons utiliser dans notre travail terminographique :

Terme	
Catégorie grammaticale	
Domaine	
Sous-domaine	
Définition	
Collocation	
Contexte	
Source du contexte	
Synonyme(s)	
Hyperonyme(s)	
Hyponyme(s)	

Equivalent en croate	
Catégorie grammaticale	
Contexte	
Source du contexte	
Définition en croate	
Synonyme	

Le **terme** ou terme vedette désigne l'idée principale que nous analysons dans notre fiche terminologique et qui nous donne les informations nécessaires.

Le **synonyme** est un concurrent du terme principal, un autre terme qui peut se substituer au terme vedette. Les synonymes parfaits ou absolus sont assez rares, nous trouvons plutôt des synonymes partiels qui ne sont pas interchangeables dans tous les contextes. En général, la langue de spécialité est assez précise et les synonymes n'existent pas, la catégorie *synonyme* sera remplie quand ce sera possible.

La **définition** est peut-être la catégorie la plus importante d'une fiche terminologique ; elle rend « reconnaissable un concept spécialisé » (Pavel et Nolet 2001 :23) elle a plusieurs buts et vise à distinguer la notion décrite des notions apparentées (ISO 704 : 2009 : 4). Il est assez compliqué de choisir un type de définition qui pourrait servir aux spécialistes et en même temps aux profanes. Le type de définition le plus employé est la définition par compréhension, qui consiste en une énumération des caractères de la notion à définir. A cette fin, on mentionne la notion générique la plus proche qui est déjà définie ou généralement connue (ISO 704 : 2009 : 6). Dans notre cas, la définition de l'énergie cinétique commencerait par l'explication que c'est un type d'énergie et puis on explique les caractères qui nous aident à distinguer l'énergie cinétique des autres types d'énergie. La définition doit être concise et ne peut être ni trop large ni trop étroite. Par exemple on ne peut pas se servir d'une définition qui explique que le moteur peut être diesel, à essence etc., vu que la notion « moteur » comprend toutes ces catégories. Une définition ne peut pas être négative (expliquer ce que la notion n'est pas) ni circulaire (expliquer le terme en utilisant un autre terme qui renvoie au concept de départ).

D'après Pavel et Nolet (2001 :105) le **contexte** dans un énoncé est un environnement linguistique qui nous aide à en dégager le sens. Sur les fiches terminologiques c'est une justification textuelle de l'usage d'un terme. La fonction du contexte dans les fiches terminologiques est de montrer comment on utilise un terme dans un domaine particulier et quel est son entourage sémantique. A côté du contexte il faut obligatoirement donner aussi la source du contexte qui doit être fiable.

3.4. L'arborescence

L'arborescence, arbre de domaine ou arbre conceptuel est une représentation graphique des notions clés d'un domaine et des relations qu'elles entretiennent entre elles (Zafio 1985 : 161). Ce type de représentation des notions est utilisé dans de nombreuses autres disciplines, dont la plus connue est la généalogie (l'arbre généalogique). La même représentation a différents noms dans chacune des disciplines, par exemple dans la terminologie nous allons utiliser le nom « arborescence ». Mais ce n'est pas seulement le nom qui est différent : nous avons plusieurs types de structures pour représenter les notions et plusieurs approches. Dans la généalogie en général il y a un ancêtre et les descendants sont représentés sous une forme pyramidale. Mais les relations dans notre cas sont très différentes, peut-être plus compliquées. Nous allons prendre comme notion de départ « moteur » et essayer de montrer les relations entre cette notion et les notions que nous avons mentionnées dans notre travail. Ce qui rend difficile la création de cet arbre c'est que nous avons beaucoup de possibilités pour organiser les notions sous étude de manières différentes. Par exemple, la notion centrale dans notre arborescence est « moteur », et l'une des branches qui rayonne s'appelle « matériaux ». Alors, dans notre arborescence la catégorie « matériaux » est inférieure dans la hiérarchie. Mais si l'on considère que, dans le processus de construction des moteurs à combustion interne, on commence par la fabrication des matériaux différents et la préparation des alliages, en réalité la catégorie « matériaux » devrait être au-dessus de la notion « moteur ». L'autre problème est que certaines notions peuvent

apparaître plusieurs fois dans l'arborescence – par exemple, le cycle de fonctionnement qui comprend les notions admission, compression, inflammation et échappement est un terme subordonné du terme moteur à 4 temps dans notre arborescence. La difficulté qui se présente c'est que l'on peut classer le terme « cycle de fonctionnement » comme subordonné des termes *moteur thermique*, *moteur à essence* ou bien *moteur diesel*.

3.5. Création du glossaire

Avant de créer un glossaire il est indispensable de distinguer d'une part les termes trouvés dans le corpus, et qui pourraient être considérés comme pertinents pour figurer dans le glossaire du domaine étudié et d'autre part les mots qui coïncident avec leur signification dans le langage quotidien. La grande majorité des termes liés à notre domaine, comme par exemple *vilebrequin*, ne s'utilisent que dans la langue de spécialité (dans ce cas la mécanique) et ils portent presque toujours dans le dictionnaire l'indication du domaine. Dans la traduction de ce texte nous avons aussi trouvé des dizaines de mots qui, dans le langage quotidien, ont une signification différente de celle qu'ils ont dans le domaine automobile, et c'est précisément pour cela que ces mots doivent être incorporés dans notre glossaire. Les mots que nous avons trouvés dans notre corpus mais qui n'appartiennent qu'au langage quotidien ne feront pas partie de notre glossaire vu que nous traitons le lexique spécifique, de l'automobile. Il est aussi très important de rappeler que le domaine de l'automobile est en contact avec plusieurs autres domaines, comme par exemple la chimie, la physique, la thermodynamique (qui est aussi une branche de la physique) etc. Les différences entre un dictionnaire classique et un glossaire ne sont pas seulement les termes que nous choisissons, mais aussi la manière de les présenter. Un glossaire monolingue est un peu plus proche du dictionnaire classique vu qu'il donne des définitions des termes choisis ou des explications, même si la définition du glossaire n'est pas la même que celle du dictionnaire. D'un autre côté, le glossaire bilingue se construit d'une manière différente : l'essentiel est de donner l'équivalent du terme dans la langue cible, et il faut que la traduction soit précise.

4. Traduction

UVOD U FUNKCIONIRANJE AUTOMOBILA

1 MOTOR I NJEGOVI DIJELOVI

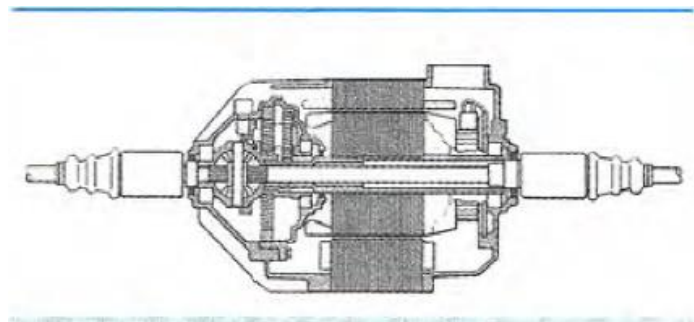
Sustav motora

4. Podjela motora

Kakvi se motori koriste u automobilima?

Automobil mogu pokretati dvije vrste motora:

- električni motor** (skica 4.1);
- toplinski motor** (skica 4.2).



Skica 4.1. Električni motor.

Koje su prednosti vozila s električnim motorom?

Električni motori imaju određene prednosti:

- gotovo nimalo ne zagađuju okoliš;
- tih rad;
- jednostavnost upravljanja.

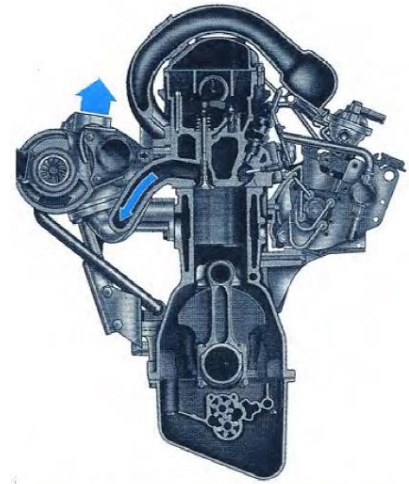
Najprisutnija su u velikim gradovima koji imaju:

- velike probleme zbog zagađenja koje uzrokuju automobili
- dovoljno gustu mrežu stanica za brzo punjenje

(→Svezak 2, Lekcija 24)

Koje su prednosti vozila s toplinskim motorom?

Iako je iskoristivost toplinskih motora niža od električnih motora, odnos mase i snage ide u korist toplinskih motora. Zbog duže autonomije prikladniji su za duga putovanja. Njihovo prilagođavanje automobilu rezultat je razvoja dugog više od stoljeća.



Skica 4.2. Toplinski motor (dokument Citroën).

Napomena:

„Hibridni“ sustav posjeduje jedan ili više električnih motora koje pokreće elektrogenerator u kombinaciji s toplinskim motorom.



Skica 4.3. Benzinski motor (dokument Citroën).

Koje su dvije velike skupine toplinskih motora?

Razlikujemo:

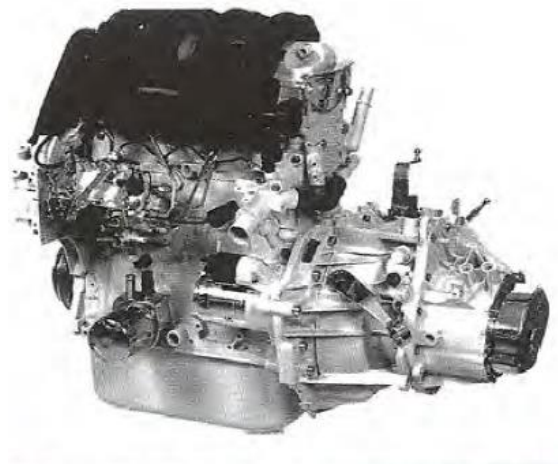
-motore pokretane **eksplozijom** (benzinske motore) (skica 4.3) kod kojih iskra svjećice zapaljuje smjesu zraka i goriva. Oni, dakle, imaju sustav paljenja svjećicom.

Miješanje zraka i goriva može se ostvariti:

-karburatorom ili rasplinjačem,

-ubrizgavanjem goriva.

-motore pokretane **izgaranjem** (Diesel motor) (skica 4.4), kod kojih izgaranje pokreće ubrizgavanje dizelskog goriva pod tlakom u snažno komprimirani zrak. Dolazi do samozapaljenja, što znači da se smjesa spontano zapaljuje.



Skica 4.4. Motor pokretan izgaranjem (Diesel)
(dokument Citroën).

Koje su faze rada toplinskih motora?

Francuski inženjer **Beau de Rochas** definirao je 1862. faze rada motora s unutrašnjim izgaranjem:

1. **usis**: uvlačenje zraka ili mješavine zraka i goriva;
2. **stlačivanje** zraka ili smjese;
3. brzo **zapaljenje** i **spuštanje** klipa;
4. **istiskivanje** zapaljenih plinova.

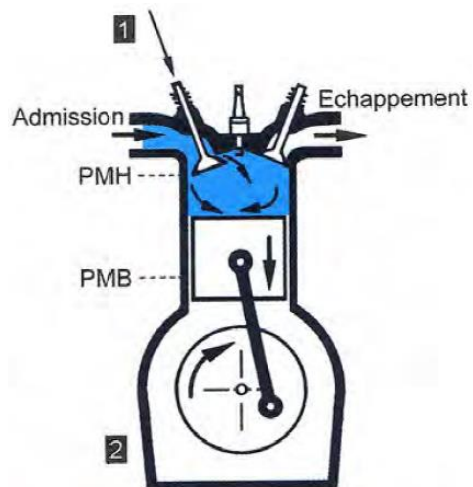
Gdje se primijenjuje ovaj ciklus?

Postoje tri načina primjene:

-**četverotaktni motori** (skica 4.5) koji ostvaruju ciklus u **četiri pokreta klipa** i dva okretaja koljenastog vratila;

-**dvotaktni motori** (skica 4.6) koji ostvaruju ciklus u **dva pokreta klipa** i jednom okretaju koljenastog vratila;

-**rotacijski** motori (slabo rašireni) (skica 4.7) koji umjesto pravocrtnog izmjeničnog kretanja klipa koriste **okretanje rotora** koji ostvaruje ciklus tri puta u jednom okretaju.



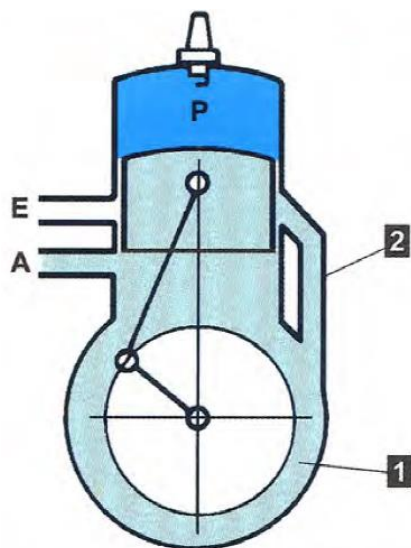
Skica 4.5. Četverotaktni motori

1. Ventili.

2. Nepropusni karter

Napomena:

Ovi motori mogu biti „atmosferski“ ili „turbopunjeni“.

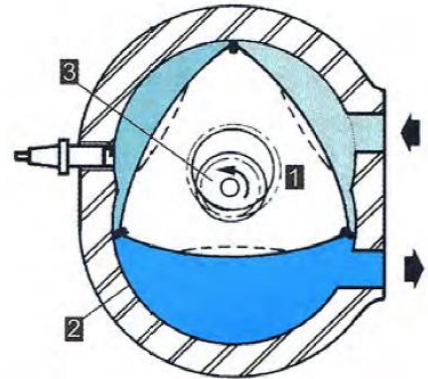


Skica 4.6. Dvotaktni motor.

1. Nepropusni karter.

2. Prijenos.

A i E. Usisna i ispušna cijev.

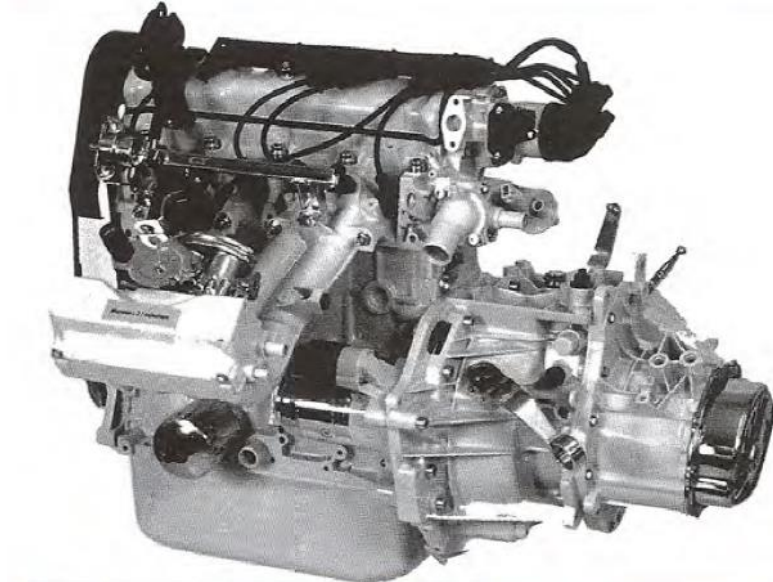


Skica 4.7. Motor s rotacijskim klipom.

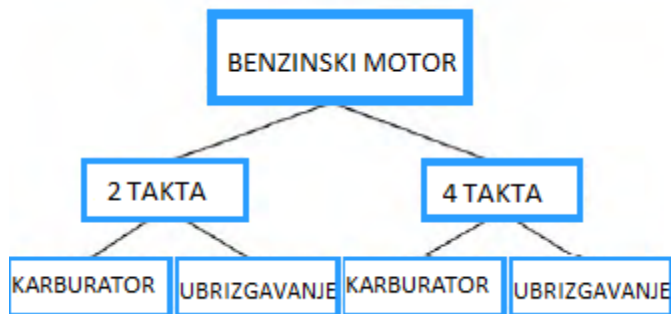
1. Klip ili rotor.

2. Stator.

3. Koljenasto vratilo.



Skica 4.8. Benzinski četverotaktni motor s ubrizgavanjem (dokument Citroën).



Skica 4.9. Pregled različiti vrsta toplinskih motora.

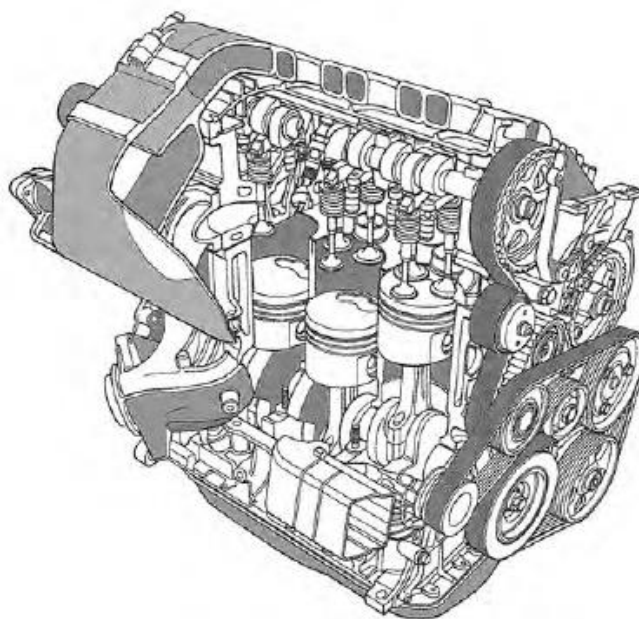
Treba razlikovati:

-**Neizravno ubrizgavanje benzina:** ubrizgavanje goriva pod niskim tlakom iznad usisnog klipa (Lekcija 18) u trenutku ulaska zraka.

-**Neizravno ubrizgavanje dizela:** ubrizgavanje dizela pod visokim tlakom u komoru za predizgaranje nakon stlačivanja.

-**Izravno ubrizgavanje dizela** (skica 4.10): ubrizgavanje dizela pod jako visokim pritiskom izravno u cilindar nakon stlačivanja (Lekcija 24).

-**Ubrizgavanje ulja** (dvotaktni motori): smjesa goriva i ulja se dobiva ubrizgavanjem posebnog ulja za dvotaktne motore u gorivo u trenutku **usisa** smjese.



Skica 4.10. Dizelski motor s izravnim ubrizgavanjem (dokument Renault).

Promotrimo sustav motora u cjelini (skice 4.11 i 4.12 na slj. str.).

- 1) Usis zraka.
- 2) Usis goriva (kemijska energija).
- 3) Stvaranje mehaničke energije.
- 4) Istiskivanje zapaljenih plinova (gubitak toplinske energije).
- 5) Prolazak hladnog zraka kroz radijator.
- 6) Izbacivanje topline (gubitak toplinske energije).

- 7) Prisutnost tekućine za rashlađivanje.
- 8) Prisutnost maziva.
- 9) Stvaranje električne energije.
- 10) Vozač pokreće motor.
- 11) Vozač pritišće papučicu gasa.

Skica 4.11. Presjek sustava motora
(ovaj je sustav u potpunosti objašnjen u prvom svesku).

A. Sustav paljenja

C. Sustav karburacije/ubrizgavanja

CH. Sustav punjenja

D. Sustav pokretanja

R. Sustav hlađenja

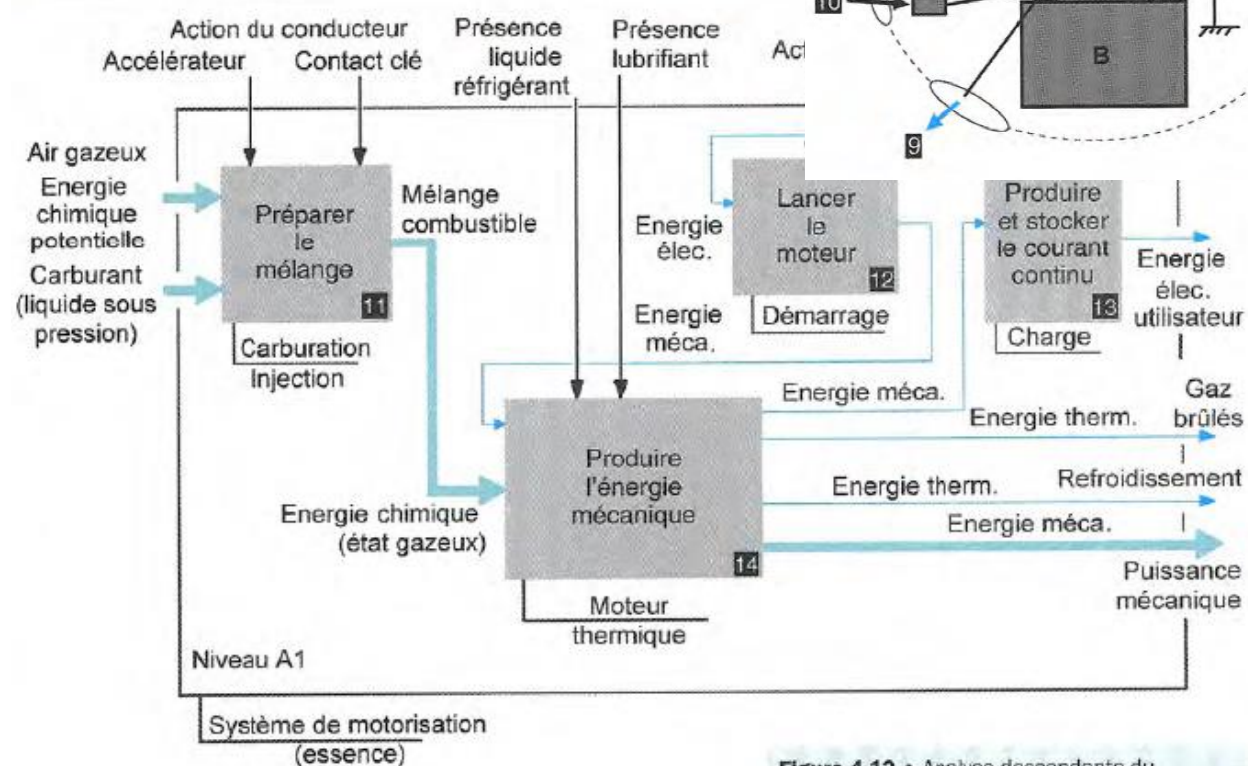


Figure 4.12 • Analyse descendante du système de motorisation.

Skica 4.12. Silazna analiza sustava motora.

Koje vrste motora pokreću putnička vozila?

Putnička vozila mogu biti pogonjena:

- benzinskim ili dizelskim motorom;
- električnim motorom;
- i jednim i drugim (ova se vozila nazivaju „**hibridi**“, imaju jedan toplinski motor koji se koristi za pogon i proizvodnju struje, te jedan ili više električnih motora za pogon).

Napomena:

U ovom djelu posebno ćemo proučavati:

- benzinske motore:-s karburatorom (u nestajanju);
 - s elektroničkim ubrizgavanjem.
- dizelske motore:-s mehaničkom pumpom (u nestajanju);
 - s elektroničkim ubrizgavanjem (*common rail*).

Kratko ćemo se osvrnuti na dvotaktne motore koji pogone mopede i neke motocikle.

Podsjetnik

Vrste motora

- električni motori,
- toplinski motori.

Skupine toplinskih motora

- s eksplozijom: benzinsko gorivo, paljenje svjećicom.
- s izgaranjem: dizelsko gorivo, samozapaljenje pod visokim tlakom.

Ciklusi funkcioniranja

Faze ciklusa Beau de Rochasa jesu:

- usis,
- stlačivanje,
- širenje plina,
- istiskivanje.

Različite vrste taktova motora

Dvotaktni, četverotaktni, rotacijski.

Četverotaktni motor s benzinskim ubrizgavanjem

Gorivo se ubrizgava u trenutku ulaska iza usisnog ventila. Sustav paljenja pokrene izgaranje.

Četverotaktni dizelski motor

Gorivo se nakon stlačivanja ubrizgava u pretkomoru ili izravno u cilindar. Izgaranje se provodi samozapaljenjem goriva u snažno zagrijanom zraku.

Ovi motori mogu biti „atmosferski“ ili „turbopunjeni“.

Testirajte svoje znanje

1. Koja se vrsta motora nalazi u hibridnom vozilu? **a.** toplinski motor **b.** električni motor **c.** obje vrste
2. U dvotaktnom motoru karter je: **a.** slobodan **b.** nepropusan **c.** ne postoji
3. U ciklusu Beau de Rochasa, drugi je takt: **a.** istiskivanje **b.** ulazak **c.** stlačivanje

Za one koji žele znati više

1. Istražite koje su razlike u izradi između benzinskog i dizelskog motora.
2. Navedite koje su razlike između svjećica za paljenje i svjećica za predgrijavanje.
3. Istražite koje su osnovne razlike između dizelskog motora s neizravnim ubrizgavanjem i motora s izravnim ubrizgavanjem sa zajedničkim vodom (*common rail*).

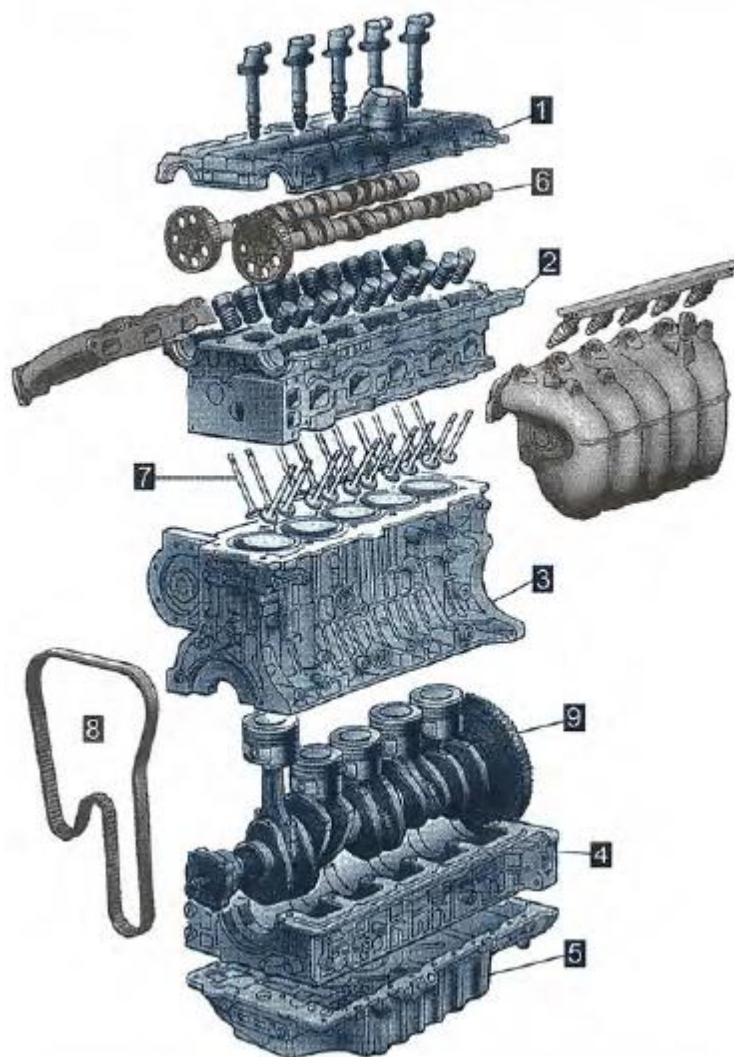
5. Sastavni dijelovi motora

Od kojih je sve dijelova sastavljen motor?

Kod motora razlikujemo (skica 5.1.):

-nepokretne dijelove;

-pokretne dijelove.



Nepokretni dijelovi

1. Poklopac glave motora.
2. Glava motora.
3. Blok motora ili cilindarski blok.
4. Glava ležajeva.
5. Karter

Pokretni dijelovi

Sustav upravljanja ventilima:

6. Bregasto vratilo.
7. Ventili.
8. Zupčasti remen.

Pogon:

9. Zamašnjak, klipnjače, klipovi.

Skica 5.1. Dijelovi motora.

Što sve čini nepokretne dijelove?

Nepokretne dijelove prije svega čine:

- blok motora** ili **cilindarski blok** (3), u kojem se nalazi jedno ili više cilindarskih udubljenja;
- glava motora** (2) koja služi kao hermetički poklopac iznad cilindra.

Što sve čini pokretne dijelove?

Pokretne dijelove čine dvije glavne skupine:

- pogon** (9) koji uključuje: **koljenasto vratilo** i **zamašnjak**, **klipnjače**, **klipovi s klipnim prstenovima**.
- sustav za upravljanje ventilima** koji uključuje: **bregasto vratilo**, **ventile** i **ventilske opruge**, sustav koji **povezuje** bregasto vratilo ili više njih s koljenastim vratilom, a sastavljen je od jednog ili više **lanaca** ili **zupčastih remena**.



Skica 5.2. Blok motora od sivog lijeva, izravno bušenje.

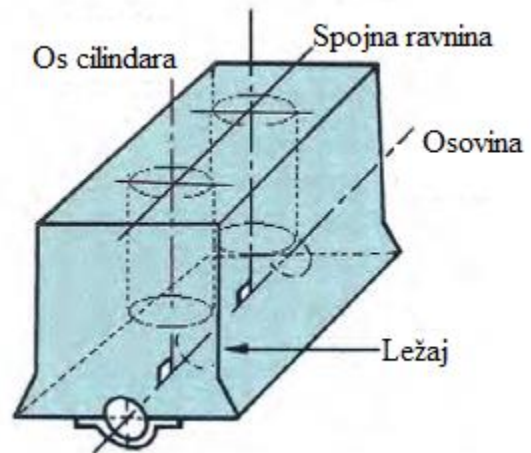
Nepokretni dijelovi

Koje su funkcije bloka motora?

Blok motora ili **cilindarski blok** (skica 5.2):

- drži koljenasto vratilo;
- omogućuje kretanje klipova;
- zajedno s glavom motora osigurava nepropusnost cilindra;

-omogućuje prolaz kanala za podmazivanje i hlađenje.

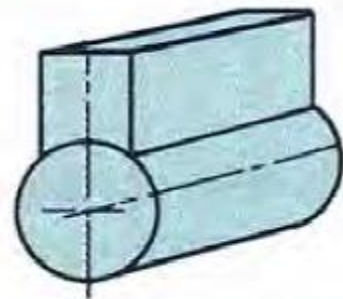


Skica 5.3. Geometrijski presjek cilindarskog bloka.

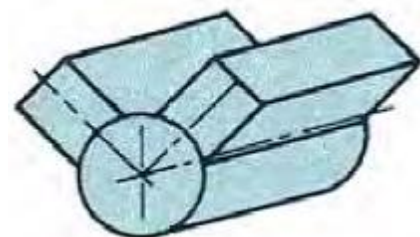
Koje uvjete mora ispunjavati blok motora?

Blok motora mora:

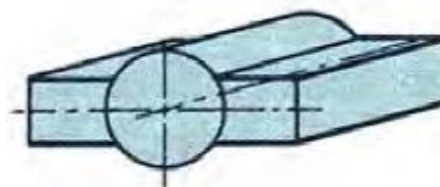
- biti **otporan na deformacije** i imati odgovarajući geometrijski raspored;
- moći **izdržati pritisak, savijanje, trenje, promjene temperature**;
- imati **dobru toplinsku provodljivost** (brzo izbacivanje viška energije);
- težiti što je manje moguće.



Skica 5.4. Redni položaj cilindara.



Skica 5.5. V položaj cilindara.



Skica 5.6. Oprečno postavljani cilindri (bokser motor).

Koja su geometrijska svojstva cilindarskog bloka?

Ležajevi na kojima se rotira koljenasto vratilo moraju biti koncentrično postavljeni. Ta se zamišljena linija naziva osovina. Osovina mora biti paralelna sa **spojnom ravninom**. Os svakog cilindra mora biti okomita sa spojnom ravninom i s osovinom (skica 5.3).

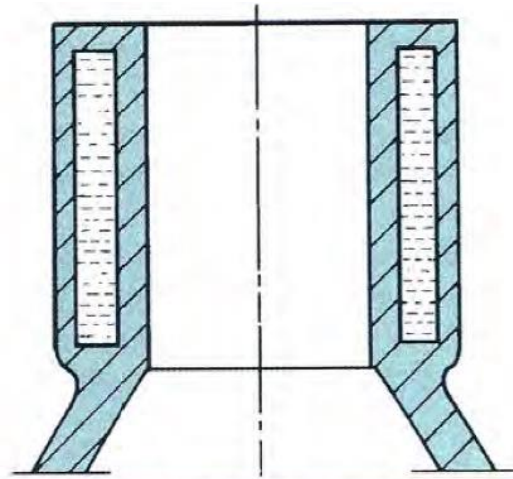
Ova se svojstva odnose kako na motore s jednim cilindrom, tako i na motore s više cilindara, budući da se razlikuju samo prema položaju.

Motori s dva ili više cilindara mogu biti smješteni na sljedeće načine: **redni položaj** (skica 5.4), **V položaj** (skica 5.5), **oprečno postavljani cilindri** (skica 5.6)(ponekad u V, W ili zvjezdastom položaju).

Koji se materijali koriste za izradu?

Vidjeli smo da blok mora izdržati mehanička naprezanja ali i izbacivati višak topline koji može izazvati širenje, deformaciju i stapanje materijala čime dolazi do velikih teškoća u funkcioniranju.

Materijal koji posjeduje i trajnost i dobru toplinsku provodljivost naziva se sivi lijev. Njegova se svojstva poboljšavaju različitim postupcima: nitriranjem, dodavanjem silicija, mangana itd. Osim toga, lako ga je kalupirati.



Skica 5.7. Cilindarski blok s izravnim bušenjem.

Također se koriste **legure aluminija** (silumin), lakih materijala i dobrih vodiča topline. Kalupiranje se odvija pod pritiskom a stijenke bloka dobivaju rebra za učvršćivanje.

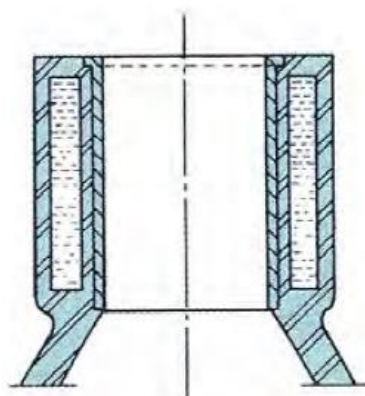
Ako je blok izrađen od lake slitine, tada se **cilindri** najčešće **izrađuju** od **sivog lijeva**.

Završna obrada podrazumijeva: bušenje kanala, zavarivanje ležajeva, bušenje i urezivanje mjesta pričvršćivanja. Površine koje su u kontaktu, spajaju se zglobovima.

Unutrašnjost cilindra najprije se buši, izravnavava, zatim ispituje.

Koji su različiti tipovi cilindarskih blokova?

- Blok s **izravnim bušenjem** (skice 5.2 i 5.7): neki blokovi od sivog lijeva se izravno obrađuju, pa cilindri i blok čine jednu cjelinu. U slučaju trošenja cilindra, potrebno ih je **ponovno izbušiti** u većim dimenzijama i prilagoditi im klipove većeg promjera.

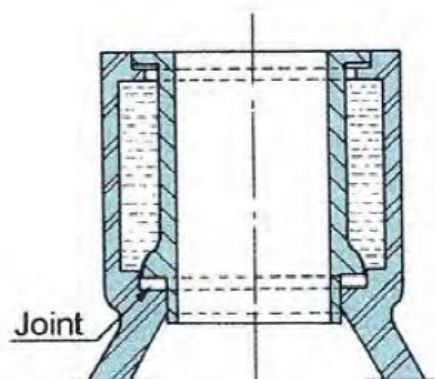


Skica 5.8. Suhe košuljice.
(Primjer vodenog hlađenja.)

-Blok s **izmjenjivim košuljicama**: ovaj sustava olakšava izradu; omogućuje korištenje različitih materijala za blok i za cilindre (izrada cilindara od sivog lijeva, a bloka od lake slitine). Popravak je puno lakši (koriste se originalne košuljice).

-**Suhe košuljice** (skica 5.8): tanka ovojnica ugrađena u blok od sivog lijeva ili od lake slitine; moguće ih je zamjeniti, no postavljaju se vrlo tijesno; nema dodira s rashladnom tekućinom.

-**Mokre košuljice** (skica 5.9): košuljica istovremeno služi i kao stijenka za provođenje hlađenja; zamjena je olakšana, no moraju biti nepropusne. Izrađuju se od centrifugalnog lijeva, također se naprije buše, izravnavaju, a zatim ispituju.



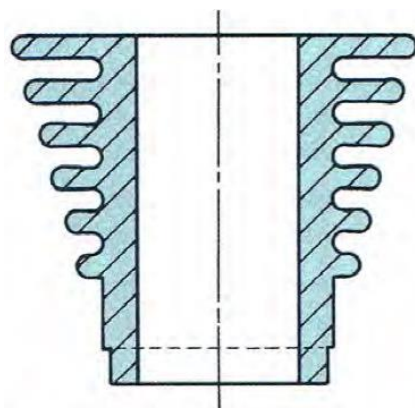
Skica 5.9. Mokre košuljice.
(Primjer vodenog hlađenja.)

Motori sa zračnim hlađenjem

Blok je neovisan od cilindara, što olakšava izradu i upotrebu različitih materijala. Masa im je manja od mase cilindarskih blokova s vodenim hlađenjem (skica 5.10).

Cilindri se mogu izrađivati od sivog lijeva ili lake slitine. U potonjem slučaju koriste se suhe košuljice (skica 5.11).

Pokretni dijelovi – klip, klipnjača, koljenasto vratilo – ne mogu funkcionirati bez spoja s **čvrstim monoblokom**.

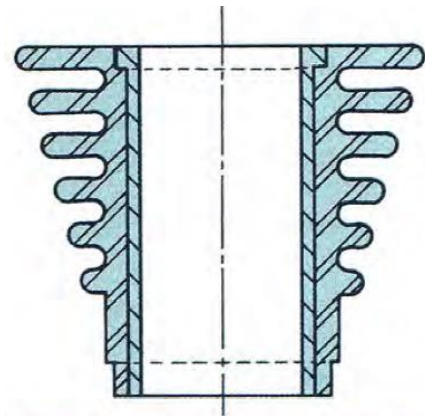


Skica 5.10. Izravno bušenje.

Tlak plinova ne može djelovati na klip ako nema nepropusne komore s **gornje strane cilindra i glave motora** (skica 5.12).

Nijedna sila koju ostvaruju pokretni elementi ne može se izvršiti bez djelovanja nepokretnih elemenata koji ostvaruju jednaku silu u suprotnom smjeru.

Cjelina **blok-cilindri-glava motora** uporište je pokretnih dijelova bez kojega ne može biti okretnog momenta.



Skica 5.11. Ugrađena košuljica.

Koje su funkcije glave motora?

Glava motora služi **zatvaranju cilindra** s gornje strane, stvarajući na taj način **komoru za izgaranje**.

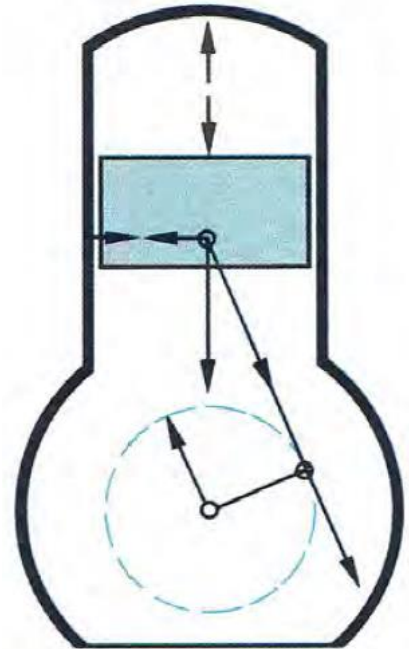
Omogućuje:

- usis i istiskivanje plinova,
- postavljanje dijelova sustava za upravljanje ventilima i nekih dijelova sustava paljenja,
- brzo izbacivanje viška energije, budući da je najtopliji dio motora upravo komora za izgaranje.

Koji se materijali koriste za izradu glave motora?

Koristi se sivi lijev ili kalupirana slitina aluminija. S obzirom na to da mehanička ograničenja nisu tako velika kao za blok motora, proizvođači su gotovo u potpunosti napustili upotrebu sivog lijeva te prešli na slitine aluminija (silumin) zbog njegove male težine i dobre toplinske provodljivosti.

Način izrade isti je kao za blok motora.



Skica 5.12. Djelovanje pokretnih dijelova na nepokretne dijelove.

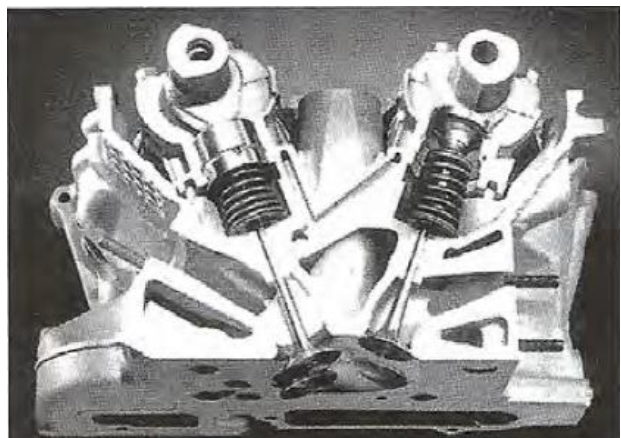
Koje su specifičnosti kod izrade glave motora?

Komore za izgaranje koje se ugrađuju u glavu motora imaju poseban oblik (hemisferičan, bisferičan) (skica 5.13).

Mogu biti potpuno ili djelomično smještene u glavi klipa.

Njihov oblik mora olakšavati miješanje svježeg zraka i istiskivanje zapaljenih plinova.

Cijevi za usis i istiskivanje na glavi motora zovu se usisni razvodnik i ispušni kolektor.



Skica 5.13. Presjek glave motora od lake slitine.

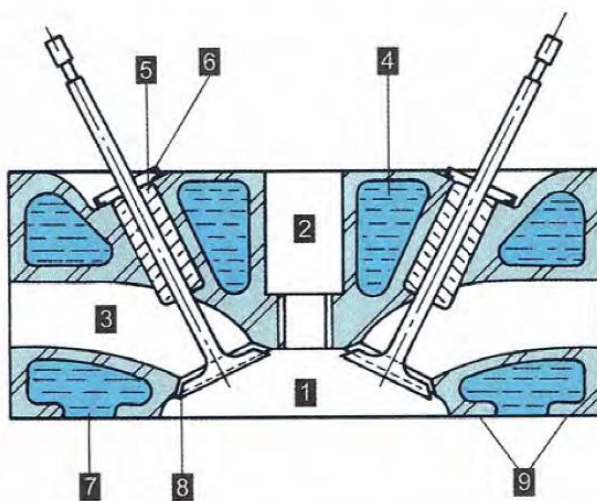
Na koji način se hladi glava motora?

Cijevi za hlađenje ugrađuju se u cijelu glavu motora, osobito blizu komore za izgaranje, ventila i svijećica.

Te cijevi spojene su s cilindarskim blokom preko otvora koji su postavljeni na spojnu ravninu.

Spoj između glave motora i cilindarskog bloka

Spojna ravnina između glave motora i cilindarskog bloka omogućuje prolaz **vode, stlačenih plinova i ulja pod pritiskom** prema donjem dijelu motora (skica 5.14).



Skica 5.14. Sastavni dijelovi glave motora.

1. Komora za izgaranje.
2. Utor za svjećicu.
3. Razvodnik/kolektor.
4. Odvod hlađenja.
5. Vodilica ventila.
6. Opruga.
7. Spoj s blokom.
8. Sjedište ventila.
9. Spojna ravnina glave motora.

Pokretni dijelovi

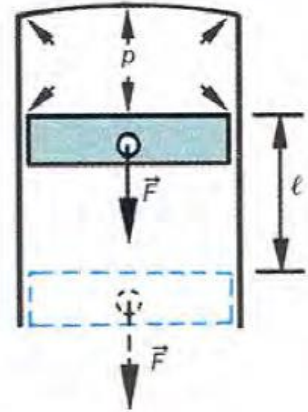
Koja je uloga klipa?

Klip je pomična stijenka u cilindru. Omogućuje:

-**stlačivanje** svježih plinova zahvaljujući **sili** koju prenosi koljenasto vratilo: $p=F/S$

-u trenutku širenja plinova, **pretvaranje tlaka** zapaljenih plinova u silu: $F=pS$

-**premještanje** sile koje omogućuje motoru izvršenje rada (skica 5.15): $W=Fl$



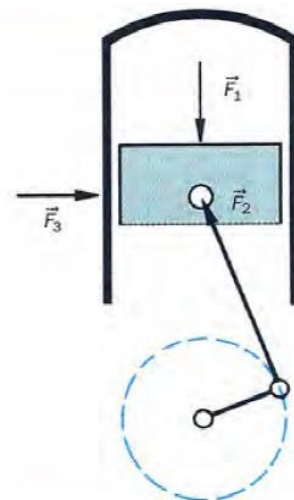
Skica 5.15. Sila: $F=pS$
Rad: $W=Fl$

Kakvim je naprezanjima podvrgnut klip?

Promjene temperature kojima je podvrgnut jako su velike i teško je ostvariti hlađenje.

Brojna su mehanička naprezanja (skica 5.16.):

- djelovanje plinova pod tlakom (F_1),
- djelovanje klipnjače (otporna sila) (F_2),
- djelovanje stjenki cilindra (F_3),
- izmjenične sile inercije nastale zbog ubrzavanja ili usporavanja klipa.



Skica 5.16. Djelovanje na klip.

Kakav je sastav klipa?

Najčešće se kalupira od laganog materijala i dobre toplinske provodljivosti kao što su **slitine aluminija**.

Glava i osovina, zaduženi za prijenos mehaničke energije, posebno se pojačavaju (skica 5.17).

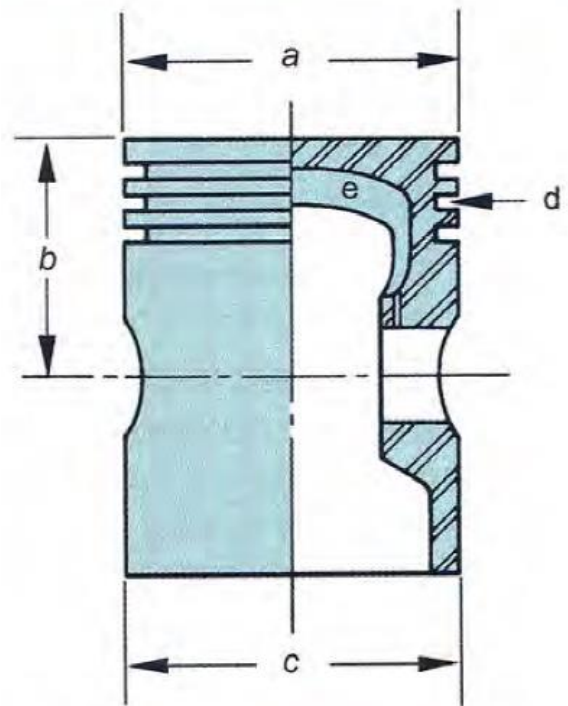
Sastoji se od:

- glave** ili **tijela** čiji promjer mora biti manji od promjera cilindra koliko god bilo širenje,
- klipnih prstenova**, smještenih u **žljebovima** oko klipa, koji osiguravaju nepropusnost,
- plašta** koji omogućuje provođenje na niskim i visokim temperaturama uz najmanje trenje.

Kako kontrolirati širenje klipa?

Laka slitina od koje je izrađen klip ima puno viši **koeffcijent širenja** nego što ima cilindar.

Promjer glave mora biti manji od **promjera cilindra** na svim temperaturama. S druge strane, plašt mora imati što manje dijametralne pokrete na niskim temperaturama, i nisko trenje na visokim temperaturama, unatoč širenjima.



Skica 5.17. Klip

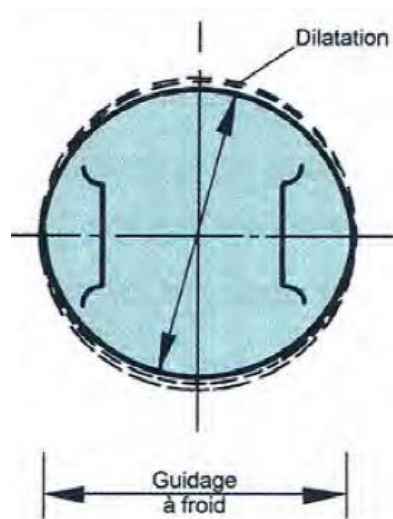
- a: promjer glave
- b: udaljenost između glave i čela klipa.
- c: promjer plašta.
- d: Klipni prsten.
- e. pojačanje.

Koji se postupci koriste?

Ugrađuje se **utor za širenje** na razini plašta. Taj utor mora biti ukošen kako bi se izbjeglo nastajanje nabora zbog trošenja cilindra.

Plašt je ovalnog oblika (skica 5.18); širenje utječe na mali promjer tako da mu daje cilindrični oblik.

Materijali s niskim koeficijentom širenja ugrađuju se u plašt (čelik, metal „invar“).



Skica 5.18. Plašt ovalnog oblika.

Kakav je sastav klipnih prstenova?

Klipni su prstenovi zapravo razlomljeni, presjek im je četvrtastog ili paralelopipednog oblika, a funkcioniraju u nastavcima. Oni osiguravaju **ravnomjeran radijalni pritisak** na stijenke cilindra (skica 5.19).

Lijev od kojeg su napravljeni kromira se kako bi se izbjeglo trošenje uzrokovano trenjem. Njihov položaj u žljebovima omogućuje tlaku plinova da poveća njihovu nepropusnost.

Četverotaktni motori najčešće imaju tri klipna prstena:

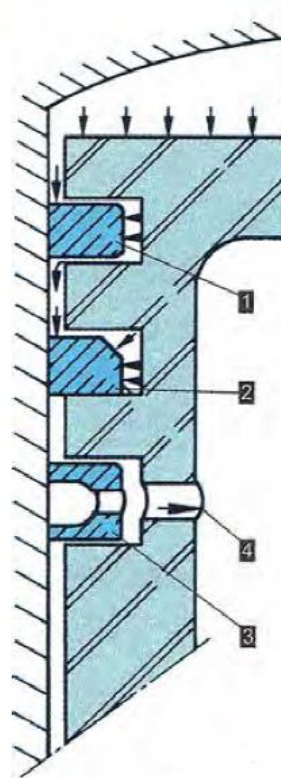
- **kompresijski prsten (1)**

- **srednji prsten (2)**

Prva dva prstena omogućuju nepropusnost donjeg dijela komore za izgaranje.

- **uljni prsten (3)** – sprječava vraćanje sloja ulja u komoru.

Možemo, dakle, pretpostaviti da trošenje klipnih prstenova ili cilindra izaziva gubitak kompresije i trošenje ulja.



Skica 5.19. Klipni prstenovi.

→Djelovanje pritiska

1. Kompresijski prsten.
2. Srednji prsten.
3. Uljni prsten.
4. Vraćanje ulja.

Osovinica

Budući da je sila koja se prenosi povećana, površina dodira s klipom i klipnjačom mora biti velika.

Osovinica se izrađuje od stvrdnutog cementiranog čelika, a zatim se izravnavava.

Može se postaviti u različite položaje:

- slobodna na klipu, stegnuta na klipnjači,
- slobodna na klipnjači, stegnuta na klipu,
- slobodna na klipnjači i na klipu: u tom je slučaju zatvorena na oba kraja.

Koja je uloga klipnjače?

Klipnjača je **posredni element** koji omogućuje **prijenos** sila između pokretnih dijelova s **različitim kretanjem**:

- izmjenično ravnocrtno kretanje **klipa**,
- neprekidno kružno kretanje **koljeničastog vratila**.



Skica 5.20. Klipovi i klipnjače (dokument Citroën).

Koje sile djeluju na klipnjaču?

Zbog kombinacije brzih kretanja klipa i koljeničastog vratila, ovaj je element podvrgnut trima silama: **stlačivanje, izduživanje, svijanje**.

Kako se izrađuje klipnjača?

Klipnjača se najčešće **kalupira** u **polutvrdom čeliku**, a ponekad se izrađuje od lake slitine.

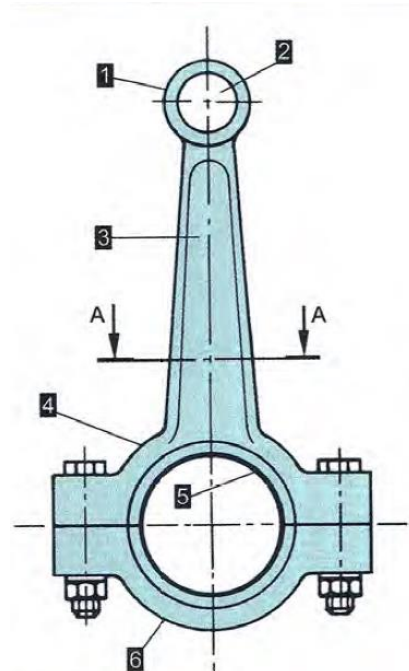
Presjek na „I“ omogućuje smanjenje mase uz zadržavanje dobre otpornosti na savijanje (uleknuće).

Glava i noga klipnjače imaju dovoljno široku površinu oslonca kako bi prenijele velike sile bez opasnosti od kvarenja.

Kako se odvijaju rotacije?

Budući da je kut rotacije noge klipnjače dosta mali, najčešće se **kontakt metala** poboljšava tako da se doda **sloj ulja** iz sustava podmazivanja.

S druge pak strane, glava klipnjače, koja omogućuje okretanje vratila za 360°, ima **poseban mehanizam protiv trenja** kao i **podmazivanje pod visokim tlakom**.



Skica 5.21. Klipnjača.

1. Noga klipnjače.
2. Os noge klipnjače.
3. Tijelo.
4. Glava klipnjače.
5. Jastučić.
6. Poklopac.

Što znači potrošiti klipnjaču?

Trenje između glave klipnjače i koljenastog vratila smanjuje se tako da se dodaju lako zamjenjivi jastučići (skica 5.22).

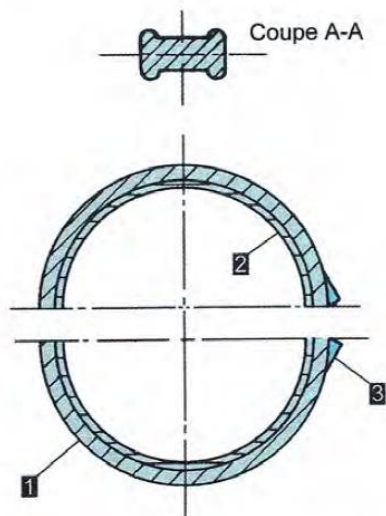
Jastučići su široki čelični prstenovi, najčešće dvodijelni, pokriveni s unutrašnje strane tankim slojem **bijele kovine** koja smanjuje trenje.

Bijela kovina sastavljena je od olova, kositra, antimona i bakra. Kad trenje između klipnjače i koljenastog vratila postane preveliko, oslobođena toplinska energija rastali bijelu kovinu. **Rad motora** postane pregrub i izazove karakteristično prigušeno kuckanje.

Potrošiti klipnjaču znači doći do pogreške koja izaziva taljenje bijele kovine zbog prevelikog trenja.

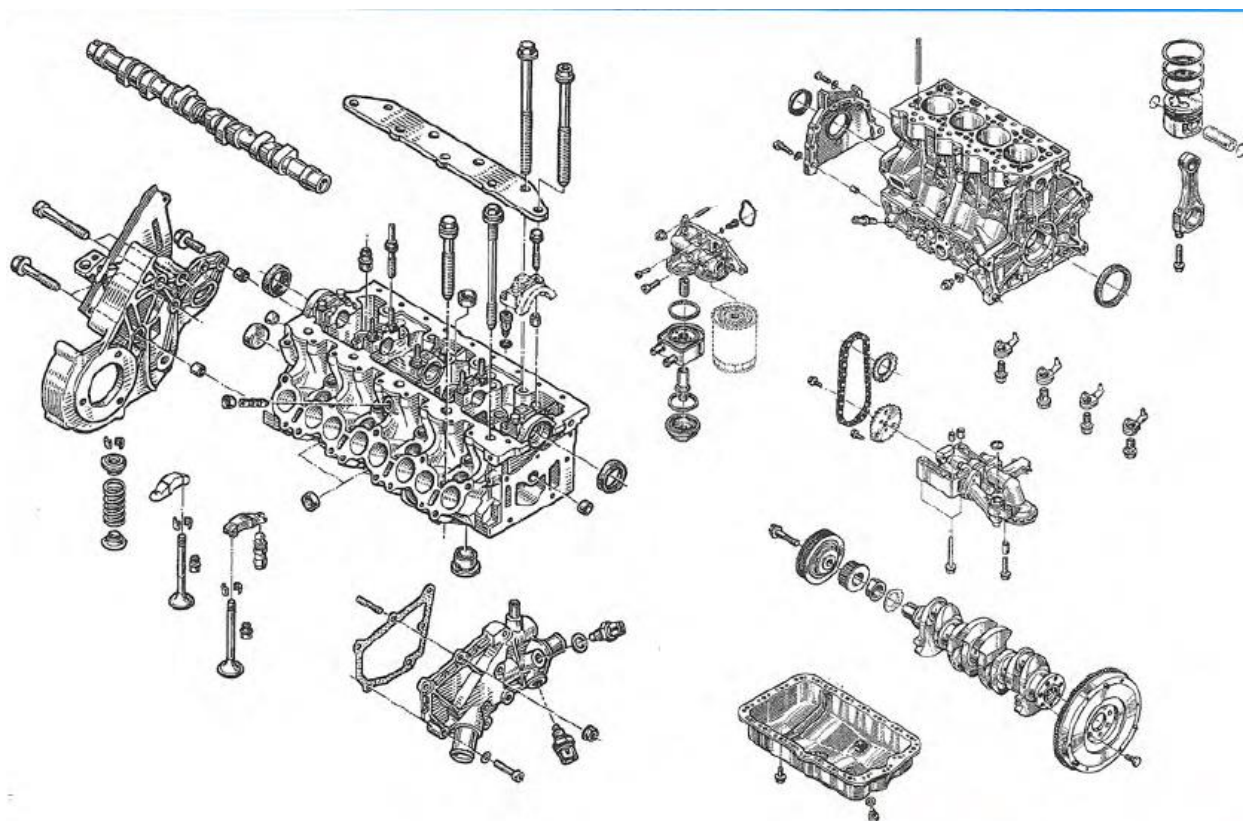
Napomena

Sustav za upravljanje ventilima i koljenasto vratilo proučit će se u zasebnim poglavljima (Lekcije 8, 9 i 10).



Skica 5.22. Postavljanje jastučića.

1. Polu-jastučić
2. Bijela kovina
3. Sigurnosna igla



Skica 5.23. Sastavni dijelovi motora (dokument Renault).

Podsjetnik

Nepokretni dijelovi motora:

Čini ih: – blok motor ili cilindarski blok

- glava motora

-Svojstva su sljedeća:

1. Cjelina blok-cilindri-glava motora mora biti otporan na savijanje,
2. Blok služi kao potpora koljenastom vratilu,
3. Cilindar vodi klip,
4. Glava motora zatvara gornji dio cilindra uz pomoć zgloba.

- Postoje dva tipa cilindarskih blokova:

1. blokovi s izravnim bušenjem;
2. blokovi sa zamjenjivim košuljicama: suhima ili mokrima.

-Izrada:

-Blokovi motora i glave motora izrađuju se od kalupa sivog lijeva ili slitine aluminija (silumin), materijala koji se mogu oblikovati i dobro provode toplinu.

Pokretni dijelovi motora

Čini ih: -pogon (koljenasto vratilo, klipnjače, klipovi, klipni prstenovi),

- upravljanje ventilima (bregasto vratilo, ventili, ventilske opruge).

-Svojstva klipa:

- klip je pomična stijenka u cilindru i ostvaruje razlike u volumenu potrebne za izvršenje ciklusa.

Omogućuje pretvorbu tlaka u pokretnu silu ($F=pS$).

Pomicanje klipa izvršava rad ($W=Fl$).

-Izrada klipa:

Kalupiranje, od lake slitine (slaba inercija).

Tlak se vrši na glavu klipa, proizvedena sila prenosi se na osovinu, klipni prstenovi ulaze u žljebove, plašt omogućuje kretanje klipa.

-Svojstva klipnih prstenova:

1. Prvi kompresijski prsten
2. Srednji (kompresijski) prsten
3. Uljni prsten

Svojstva klipnjače:

Klipnjača ima ulogu povezivanja izmjeničnog ravnocrtnog kretanja klipa i stalnog kružnog kretanja koljeničastog vratila.

Izrada klipnjače:

Čelični kalup: najčešće ima presjek na „I“ kako bi se smanjila mogućnost uleknuća. Glava je opremljena ležajevima protiv trenja čiji se površinski sloj rastapa u slučaju prejakog zagrijavanja zbog preslabog podmazivanja.

Testirajte svoje znanje

1. Kako nazivamo sustav koji omogućuje usis i istiskivanje plinova? a. upravljanje klipovima b. *é*quipage mobile? c. segmentacija
2. Koja vrsta energije omogućuje pretvorbu goriva u mehaničku energiju? a. toplinska energija b. kinetička energija c. električna energija
3. Osovina je: a. os cilindara b. os ležajeva c. os klipnjača

Za one koji žele znati više

1. Istražite koja su glavna svojstva bloka motora s izravnim bušenjem i onih s karterom cilindra s izmjenjivim košuljicama. Označite svaki put o kojem se tipu motora radi i na kakvo se vozilo može postaviti.
2. Opišite svojstva klipova, klipnih prstenova i klipnjača na motoru po vašem izboru.

Održavanje

U praktičnom dijelu potrebno je proučiti četiri lista druge razine na kraju priručnika *Održavanje automobila: vještine*:

List br. 31 – Postavljanje, provjeravanje i zavijanje glave motora.

List br. 33 – Provjeravanje potrošenosti cilindara.

List br. 34 – Zamjena košuljica i klipova.

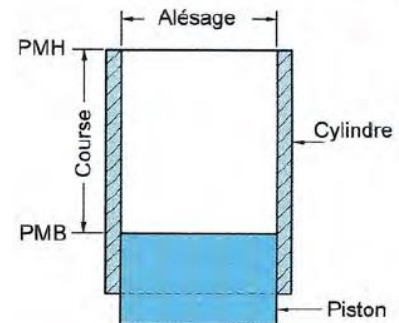
List br. 35 – Provjera potrošenosti košuljica.

6. Svojstva motora

Toplinske motore s unutrašnjim izgaranjem razlikuje prije svega:

- provrt klipa;
- hod klipa (stapaj);

- broj i raspored cilindara;
- radni obujam motora;
- omjer kompresije;
- okretni moment motora;
- najveća snaga;
- porezna snaga.



Skica 6.1. Provrt i hod klipa.

Što su provrt i hod klipa?

Provrt je **unutarnji promjer** cilindra.

Hod klipa je udaljenost između **gornje mrtve točke** (GMT) i **donje mrtve točke** (DMT) (skica 6.1).

Što je radni obujam motora?

To je ukupni obujam cilindara motora izražen u kubičnim centimetrima ili u litrama.

Kako se računa radni obujam motora?

Pojedinačni obujam (svakog cilindra zasebno) jednak je:

$$\pi (A/2)^2 C \text{ ili } \pi A^2 C / 4$$

gdje je A= provrt klipa u centimetrima,

C= hod klipa u centimetrima.

Ukupni radni obujam motora jednak je:

$$\pi (A/2)^2 C n \text{ ili } \pi A^2 C n / 4$$

gdje je n= broj cilindara.

Napomena

Radni obujam motora također se izražava u **litrama**. Jedna litra jednaka je 1000 cm³, pa možemo reći, na primjer, da je motor od 2000 cm³ motor od 2 litre.

Motori se također razlikuju i prema odnosu provrta i hoda:

- provrt < hod : **motor s dugim hodom klipa;**
- provrt = hod: **motor s kratkim hodom klipa;**
- provrt > hod: **motor s jako kratkim hodom klipa.**

Što je to omjer kompresije?

To je odnos između ukupnog obujma cilindra u trenutku kad je klip na DMT ($V+v$) (skica 6.2) i obujma koji preostaje kad je klip na GMT (v) (skica 6.3). Taj obujam (v) jednak je obujmu **komore za izgaranje.**

Omjer kompresije izražava se slovom ρ :

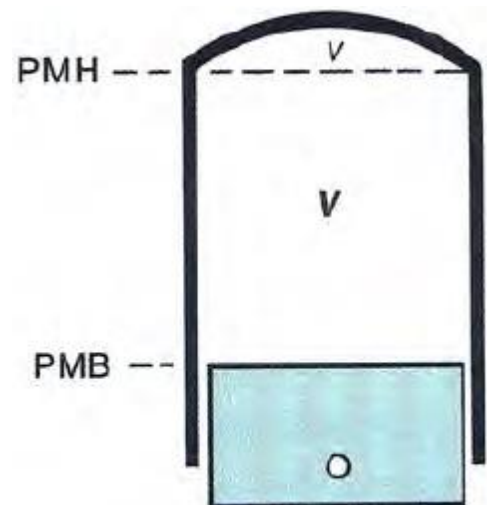
$$\rho = \frac{V+v}{v}$$

ρ : omjer kompresije,

V : obujam jednog cilindra,

v : obujam komore za izgaranje.

Rezultat se izražava u obliku razlomka.



Skica 6.2. Obujam cilindra kad je klip u DMT: ($V+v$).

Primjer

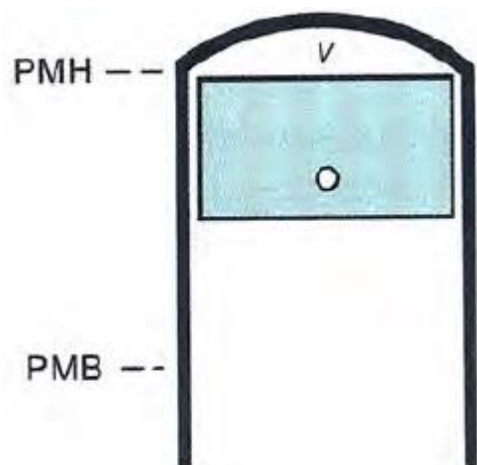
8,5/1; 9/1 ili 9 prema 1.

Napomena

Ako V raste, a v ostaje isti: ρ raste.

Ako v raste, a V ostaje isti: ρ se smanjuje.

Ako ρ raste, tlak na kraju kompresije raste.



Skica 6.3. Obujam cilindra kad je klip u GMT: (v).

Što je okretni moment motora?

Tlak koji djeluje na glavu klipa prenosi na njega silu intenziteta $F=ps$.

Odredimo intenzitet efikasne komponente F ?

(F_1) na klipnjaču: $F_1=F/\cos \alpha$.

Okretni moment motora bit će:

$$M_{(0)}(F_1)=F_1 \cdot r$$

(Okretni moment F_1 u odnosu na 0) = (Normalna sila na klipnjaču) x (polumjer ručice poluge)

$$\downarrow$$

$$N \cdot m$$

$$\downarrow$$

$$N$$

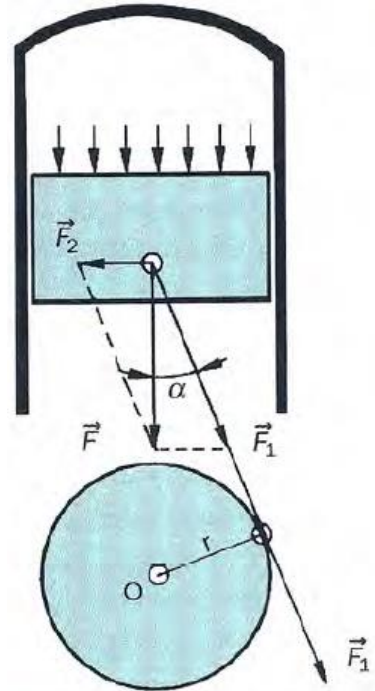
$$\downarrow$$

$$m$$

Dakle, okretni moment motora rezultat je sile na klipnjaču pomnožene s dužinom kraka vrata koljenastog vratila (skica 6.4.).

Napomena

Okretni moment također se izražava u metrima po kilopondu, zastarjeloj mjernoj jedinici (1daN \approx 1 kgf).



Skica 6.4. Rastavljanje sila koje djeluju na vrat koljenastog vratila.

Što je rad okretnog momenta?

Rad (W) jednak je rezultatu djelovanja sile na klipnjaču (F_1) pomnoženom s premještanjem? točke djelovanja sile (d ili l):

$$W = F_1 \cdot l$$

↓ ↓ ↓

J N m

Premještanje sile u jednom okretaju: $l = 2 \pi r$

Rad sile u jednom okretaju: $W = F_1 \cdot 2 \pi r$.

Ako rezultat sile $F_1 r$ određuje okretni moment motora, dobivamo:

$$F_1 \cdot r = M_{(0)}(F_1) = l \text{ i } W = F_1 \cdot 2 \pi r = 2 \pi l$$

U danom broju okretaja (n) rad će biti $W = 2 \pi n l$

Možemo zapaziti kako je okretni moment najveći u trenutku kad klipnjača i ručica koljenastog vratila tvore kut od 90° (Ponovno pogledati skicu 6.4).

Okretni je moment motora dakle rezultat rada motora (W) koji prenosi sklop klipnjača-koljenasto vratilo, a mjeri se na osovini motora.

Kako se mjeri okretni moment motora?

Koriste se uređaji, spojeni izravno na osovinu motora, koji stvaraju moment otpora malo pomalo kočeći motor. Ti se uređaji nazivaju kočnice.

Na kojem principu rade kočnice?

Ti uređaji rade pomoću trenja čiji intenzitet može varirati:

- mehaničko trenje (Prony kočnica),
- elektromagnetsko trenje (principu elektroničnog kočenja),
- hidraulično trenje (kočnica Froude).

Princip rada

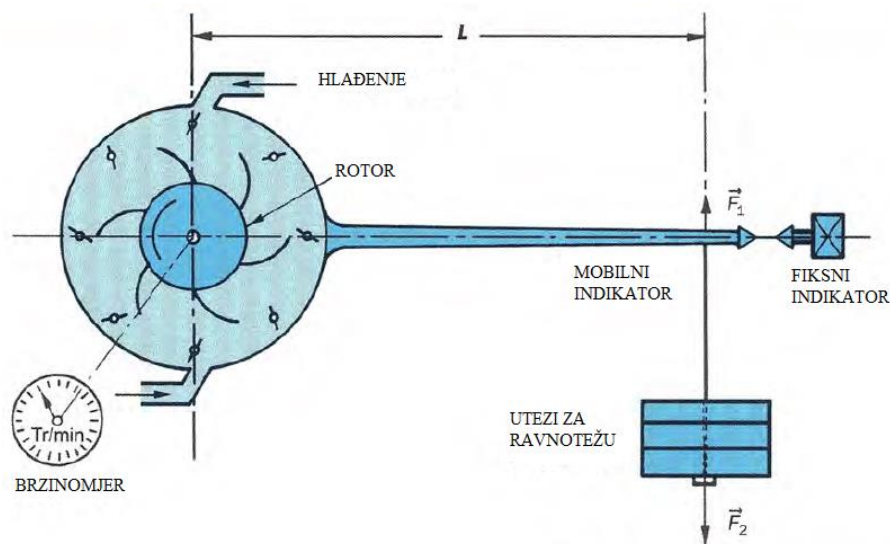
Trenje dovodi okretni moment (djelomično ili potpuno) do kartera kočnice koji se okreće oko svoje osi, pomičući sa sobom mobilni indikator.

Okretni moment ima funkciju držanja u ravnoteži potrebno opterećenje kako bi zadržao mobilni indikator nasuprot fiksnom indikatoru.

Brzinomjer mjeri kutnu brzinu.

Neiskorištena mehanička energija pretvara se u toplinu.

Kočnica dakle mora imati sustav hlađenja (skica 6.5).



Skica 6.5. Princip rada hidraulične kočnice.

Kako se računa efektivna snaga motora?

Snaga je jednaka količniku rada pomnoženog s vremenom:

$$\text{rad/vrijeme} = W(\text{u džulima})/t(\text{u sekundama}) = P(\text{u vatima})$$

Uzmimo broj okretaja n u minuti:

$$P = W/t = l \cdot 2 \pi n / 60 \text{ i } 2 \pi n / 60 = w$$

(w je kutna brzina u radijanima u sekundi)

$$P = l \cdot w$$

$$\text{vati} = N \cdot m \cdot \text{rad/s}$$

Primjer

Okretni moment = $20 \text{ daN} \cdot \text{m} = 200 \text{ N} \cdot \text{m}$;

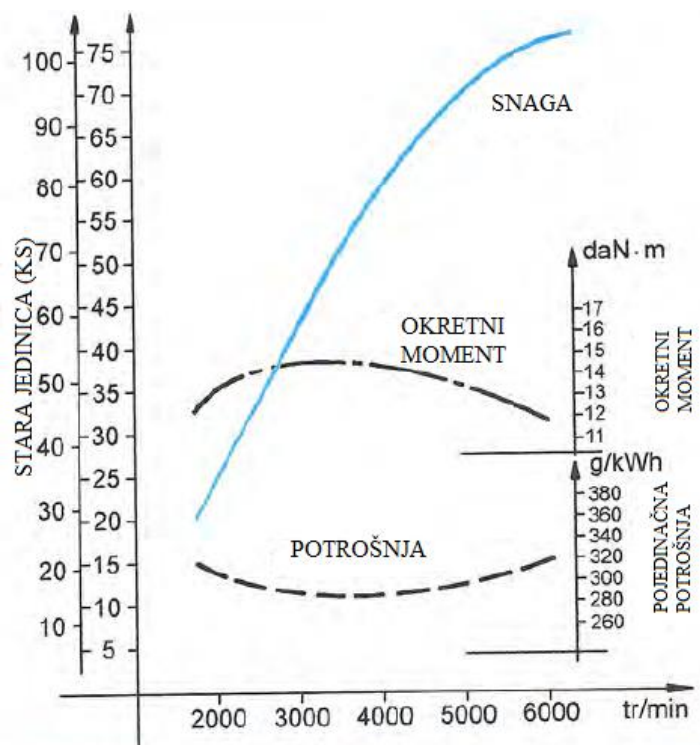
brzina okretanja = 3000 o/min :

$$P = 200 \times 2 \times 3,14 \times 3000 / 60 = 62800 \text{ W, ili } 62,8 \text{ kW}$$

Napomena

Još uvijek se može naći zastarjela mjerna jedinica za snagu motora, **konjska snaga (ks)**: **1 ks = 736 W**.

U navedenom primjeru, $62,8 \text{ kW}$ bi dalo $62,8 / 0,736$, dakle otprilike 84 ks.



Skica 6.6. Krivulja snage, okretnog momenta i pojedinačne potrošnje motora.

Norme ISO (međunarodna) i Afnor (francuska) preporučuju vat (W) kao univerzalnu jedinicu snage. Više je metoda koje se koriste kako bi se odredila efektivna snaga motora, a svaka metoda nosi naziv organizacije koja ju zagovara.

-SAE (en. *Society of Automobile Engineers*). Američki sistem kod kojega se određuje snaga motora ogoljenog od svih dodatnih dijelova (vodene pumpe, alternatora, ventilatora itd.), s unaprijed podešenim paljenjem i karburatorom za svaki način rada. Rezultat je prilično visok broj, budući da ispitivanje u kontroliranim uvjetima daje idealnu snagu koja je više teorijska.

-DIN (*Deutsche Industrie Normen*) ili tzv. Europska norma. Kod ovih testiranja motor mora imati sve dijelove, podešenja se ne mogu mijenjati usred ispitivanja (tvornička podešenja). Ovdje se pak radi o efektivnoj snazi koja je bliža stvarnosti.

- CUNA (*Commissione Tecnica di Unificazione nell'Autoveicolo*). Talijanski sistem, kompromis između sistema DIN i SAE: bez dodatnih dijelova kao kod ispitivanja SAE-a, ali s tvorničkim podešenjima kao kod sustava DIN.

Što je porezna snaga?

Ova se snaga izražava u **poreznim konjskim snagama (KS)**, a uvela ju je francuska porezna uprava kako bi izračunala pojedine poreze na automobile. Naziva se još administrativna snaga. Izračunava se prema svojstvima motora, ali koeficijenti koji se primijenjuju daju rezultat koji je dosta daleko od efektivne snage motora.

Primjer

Motor 1500cm³; **8 poreznih KS, 50 stvarnih KS**; 36,8 kW prema ISO.

Specifični okretni moment, snaga i potrošnja.

Specifični okretni moment: okretni moment po litri radnog obujma motora (**daN·m/L**).

Specifična snaga: efektivna snaga (NIN ili DAI) po litri radnog obujma motora (**kW/L**).

Specifična potrošnja: masa goriva u gramima, u količini opskrbljene energije (**g/kWh**).

Podsjetnik

Opća svojstva motora

Provrt: promjer cilindara

Hod: udaljenost između gornje mrtve točke (GMT) i donje mrtve točke (DMT).

Pojedinačni radni obujam motora: obujam jednog cilindra.

Ukupni radni obujam motora: obujam svih cilindara motora.

Računanje radnog obujma motora (u cm³):

Pojedinačni radni obujam motora: $\pi(A/2)^2C$ ili $\Pi a^2C/4$

Ukupni radni obujam motora: $\pi(A/2)^2Cn$ ili $\Pi a^2Cn/4$

Omjer kompresije: $p = V + v/v$.

Okretni moment motora (u $\text{N}\cdot\text{m}$ ili $\text{daN}\cdot\text{m}$): $l=F_1\cdot r$. Rad izmjeren na osovini motora u jednom okretaju: $W=2\pi l$ i za n okretaja: $W=2\pi nl$.

Uređaji za mjerenje okretnog momenta i snage

Mehaničke, elektromagnetske i hidrauličke kočnice.

Efektivna snaga (u vatima)

$$P=2\pi nl/60$$

$$P=l\cdot\omega \text{ (u } \text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{rad/s)}.$$

Porezna snaga (u KS)

Vrijednost koja omogućuje francuskoj poreznoj upravi uspostavljanje klasifikacije vozila.

Specifična snaga u (kW/L)

Efektivna snaga po litri radnog obujma motora.

Funkcioniranje motora

7. Ciklus četverotaktnog motora

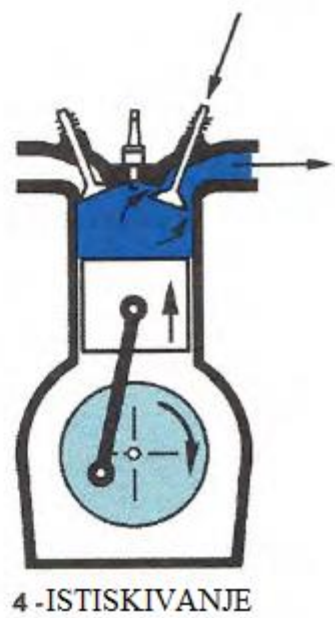
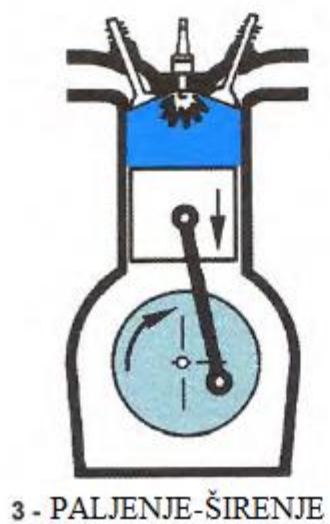
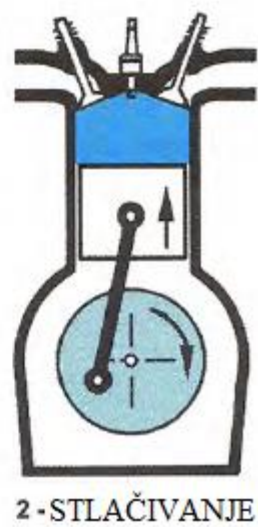
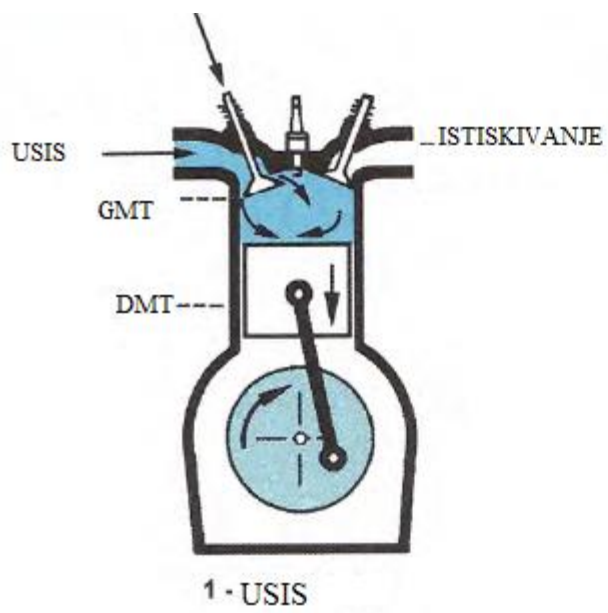
Prisjetimo se što je radni ciklus.

Radi se o nizu radnji koje se odvijaju u određenom nizu i na kraju kojih se mehanizam vraća u svoj početni položaj.

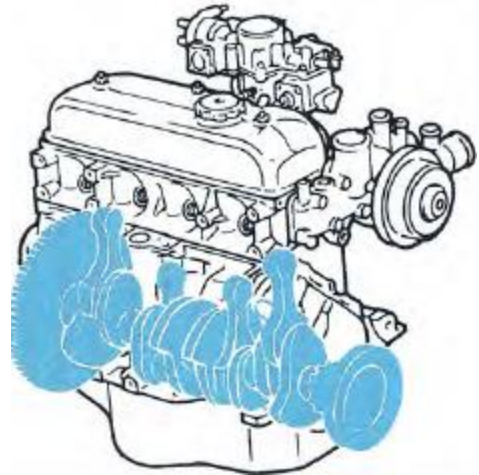
Proučimo princip ciklusa četverotaktnog motora.

Broj takta	Naziv faze	Kretanje		Položaj ventila		Radnje
		Klip	Kolj. vrat.	Usisni	Ispušni	
1. takt	Usis	↓	½ okretaja	O*	Z*	Klip se spušta i snizuje tlak, olakšavajući time ulazak zraka.
2. takt	Stlačivanje	↑	½ okretaja	Z	Z	Klip stlači plinove do veličine komore za izgaranje (tlak+toplina).
3. takt	Paljenje-širenje plina	↓	½ okretaja	Z	Z	Iskrica svijećice (ili ubrizgavanje stlačene nafte) zapaljuje smjesu. Pokrenuta toplina širi plinove koji guraju klip prema dolje.
4. takt	Istiskivanje	↑	½ okretaja	Z	O	Ponovno se dižući, klip istiskuje zapaljene plinove. Motor je ponovno spreman izvršiti prvi takt.

O=otvoreno; Z=zatvoreno.

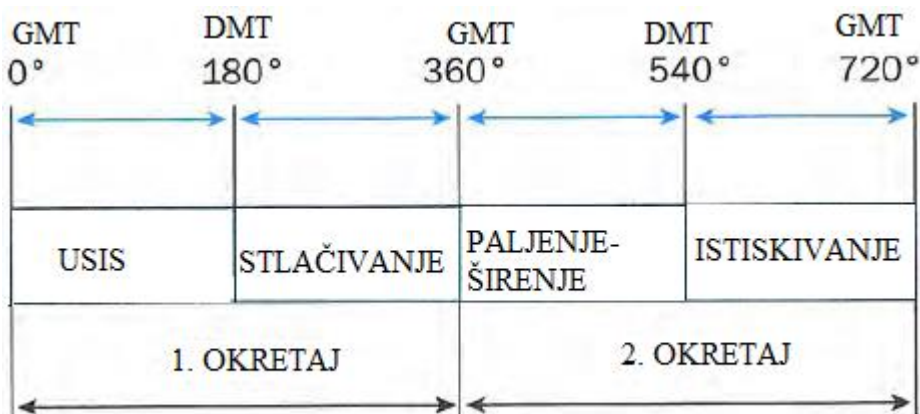


Skica 7.1. Princip rada četverotaktnog motora.



Skica 7.2. Sustav pogona i zamašnjak (dokument Renault).

Podsjetimo se:



Napomena

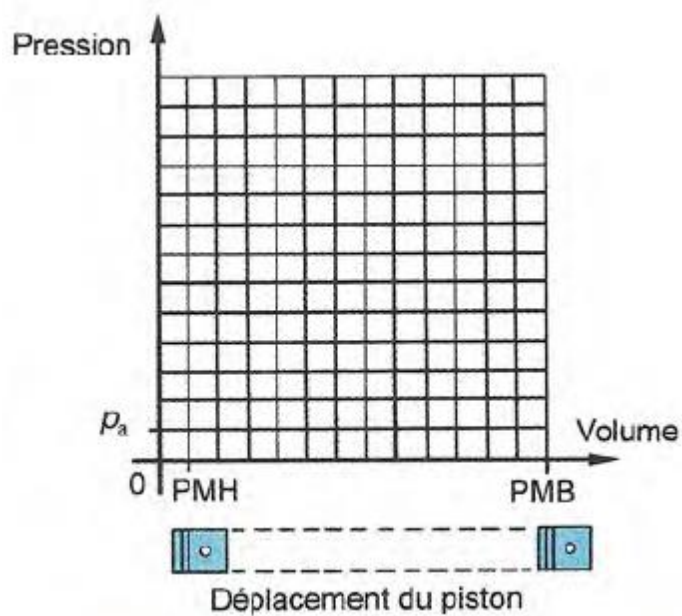
Utvrdili smo da na svaka **dva okretaja koljenastog vratila** dolazi jedan **takt motora**. Kako bi se izbjegla preskakivanja, potrebno je na kraju koljenastog vratila ugraditi disk od sivog lijeva koji se naziva zamašnjak (skica 7.2).

Uloga je zamašnjaka **reguliranje** rotacije osovine motora. Zahvaljujući svojoj masi, skladišti dio mehaničke energije jednog takta motora i vraća ju u narednim taktovima.

Kada ima više cilindara, eksplozije se raspodjeljuju kako bi se taktovi motora pravilno izmjenjivali u različitim cilindrima (→ Lekcija 10).

Kakve se promjene događaju u motoru?

Vidimo da je rad motora vezan uz promjene nakupine plinova u cilindru promjenjivog obujma.


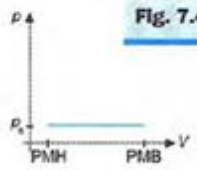



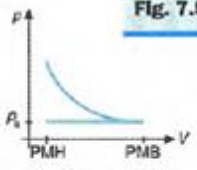


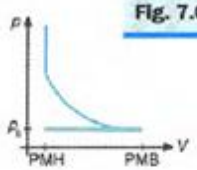



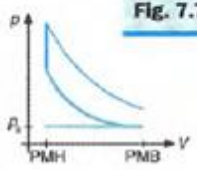


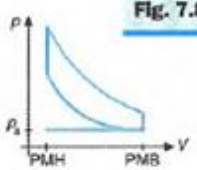

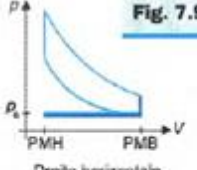


Skica 7.3. Koordinate dijagrama.

Kako možemo dokazati promjene obujma i tlaka?

Skica 7.3. pokazuje koordinate dijagrama na kojemu su prikazane promjene obujma i tlaka.

Napravimo teoretski dijagram četverotaktnog motora.

Takt	Hod klipa	Položaj ventila	Obujam	Tlak	Temperatura	Grafički prikaz
Usis	Od GMT prema DMT	Usisni: O Ispušni: Z		p_a	Vanjska	 <p>Fig. 7.4</p> <p>Droite parallèle à l'axe horizontal</p>
Stlačivanje	Od DMT prema GMT	Usisni: Z Ispušni: Z				 <p>Fig. 7.5</p> <p>Courbe ascendante</p>
Zapaljenje	GMT	Usisni: Z Ispušni: Z	=			 <p>Fig. 7.6</p> <p>Droite parallèle à l'axe vertical</p>
Širenje plina	Od GMT prema DMT	Usisni: Z Ispušni: Z				 <p>Fig. 7.7</p> <p>Courbe descendante</p>
Istiskivanje	DMT	Usisni: Z	=			 <p>Fig. 7.8</p> <p>Droite verticale</p>
Istiskivanje	Od DMT prema GMT	Usisni: Z Ispušni: O		p_a	Vanjska	 <p>Fig. 7.9</p> <p>Droite horizontale confondue avec l'admission</p>

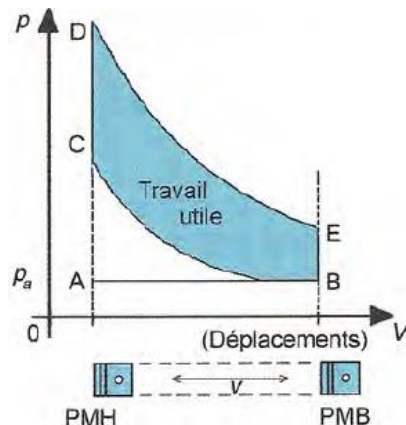
Promjene tlaka i obujma možemo pokazati koristeći **dijagram** (skica 7.10) u koji ćemo staviti:

- na **apscisu** (horizontalno), kretanje klipa odnosno **promjene obujma**;
- na **ordinatu** (vertikalno), **promjene tlaka**, gdje je vanjski tlak jednak atmosferskom tlaku koji se označava p_a .

Zašto se ovaj dijagram naziva teorijski?

Ovaj se dijagram naziva teorijski jer je namjerno pojednostavljen i ne uzima u obzir sljedeće čimbenike:

- vrijeme potrebno da se ventili otvore,
- vrijeme paljenja smjese plinova,
- inercija plinova,
- razmjenu topline s vanjštinom.



Skica 7.10. Teoretski dijagram motora.

Može li se izmjeriti rad koji izvršava motor?

Rad koji izvršava neka sila jednak je rezultatu sile pomnoženim s **kretanjem**: $W = Fd$

W =rad, u džulima,

F =sila, u njutnima,

d =kretanje, u metrima.

Ako uzmemo u obzir da će se tlak plinova pretvoriti u silu djelovanjem klipa ($F = ps$), promatrajući dijagram možemo izmjeriti rad koji vrši motor (skica 7.10).

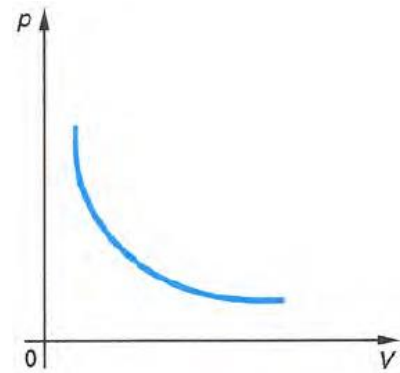
Rad motora je prikazan u području omeđenom točkama ADEBA.

Taktove istiskivanja plinova predstavlja područje omeđeno točkama ABCA.

Korisni rad motora je:

(rad motora ADEBA)-(taktovi istiskivanja).

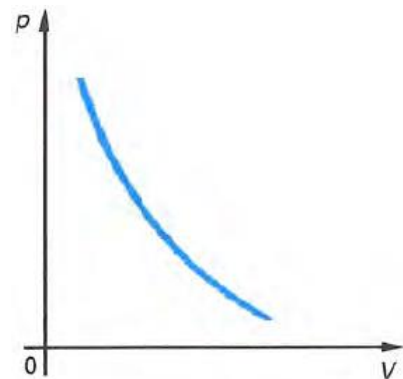
Promjene do kojih dolazi vezane su uz zakone **termodinamike**.



Skica 7.11. Mariotteov zakon.

Što je termodinamika?

Termodinamika je grana fizike koja proučava odnose između toplinske energije i mehaničke energije.



Skica 7.12. Poissonov zakon.

Koji su zakoni omogućili izradu ovog dijagrama?

Mariotteov zakon. Pod stalnom temperaturom, rezultat obujma mase plinova pomnožen tlakom, stalan je (skica 7.11):

$$pV = C^{te}, \text{ pod stalnom temperaturom}$$

izotermni je proces.

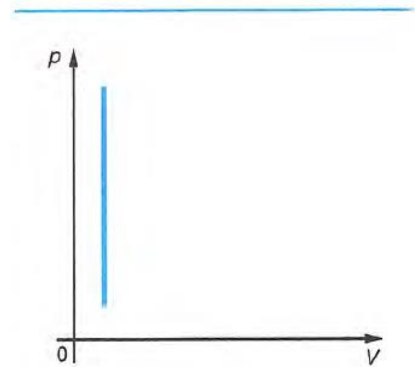
Poissonov zakon. Uzevši u obzir temperaturu, promjena plina postaje (skica 7.12):

$$pV^\gamma = C^{te}$$

Radi se od **adijabatskom** procesu, odnosno nema razmjene topline s vanjštinom.

Charlesov zakon. Ovaj zakon proučava promjenu tlaka zagrijanog plina pod stalnim obujmom: radi se od izohornom procesu (skica 7.13).

Gay-Lussacov zakon. Ovaj zakon proučava promjene obujma zagrijanog plina. Ovaj se proces odvija pod stalnim tlakom: dakle, radi se o izobarnom procesu (skica 7.14).



Skica 7.13. Charlesov zakon.

Dokazuje li se teorijski ciklus u praksi?

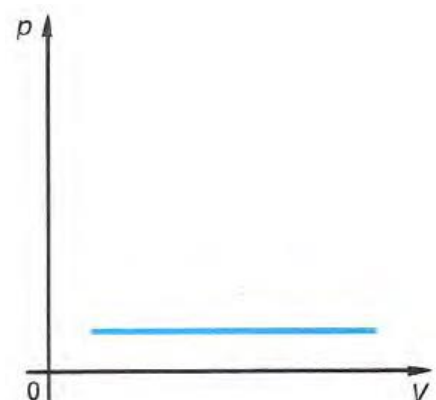
Ne, budući da smo zbog pojednostavljivanja namjerno izostavili određene fenomene koji su bitni.

Primjeri

Pokretanje svakog **plinovitog fluida** vrši se uz određeno kašnjenje s obzirom na trenutak kada to kretanje počne ili se zaustavlja. Uzrok tome je **inercija**.

Na promjene u temperaturi utječe razmjena topline s vanjštinom.

Za potpuno izgaranje smjese potrebno je vrijeme.



Skica 7.14. Gay-Lussacov zakon.

Kako se u stvarnosti mijenja dijagram kada motor radi (skica 7.15)?

1. Usis (krivulja AB). Tlak p viši je od p_a uslijed nakupljanja plinova u ulaznoj cijevi/cijevovodu, zatim se brzim povlačenjem klipa stvara pad tlaka u drugom dijelu AB: $p < p_a$ u točki B

2. Stlačivanje (krivulja BC). Krivulja stlačivanja nalazi se ispod teorijske krivulje, budući da joj je početna točka B ispod p_a . Na nju utječu promjene temperature.

3. Poticanje zapaljenje (krivulja CDE). Za vrijeme dok traje izgaranje, klip se vraća. Vertikala se spušta u krivulju gdje je **maksimalni tlak niži**. Uz to, tijekom naglog paljenja, vrući plinovi gube dio svoje topline. Tlak pada puno brže nego u teoretskom motoru.

4. Istiskivanje (krivulja EA). Pad tlaka događa se postupno i izjednači se s tlakom pri usisu tek kad klip izvrši put. Za vrijeme kretanja klipa, prisutan je **protutlak uzrokovan brzim pomicanjem klipa**.

Kakve zaključke možemo donijeti iz ovih promatranja?

1. Korisni taktovi gube dio površine na dijagramu.

2. Taktovi istiskivanja povećavaju površinu (skica 7.15):

$S_2 - S_1 =$ nedovoljan korisni rad

Kako otkloniti te nedostatke?

Kako bi se uklonili ti nedostaci potrebno je produžiti vrijeme otvaranja ventila kako bi se izbjeglo usporavanje protoka plinova.

Trenutak zapaljenja trebao bi se pomaknuti unaprijed kako bi se uskladio sa kašnjenjem izgaranja.

Proučimo kako prilagoditi stvarni dijagram (skica 7.16).

Ubrzavanje otvaranja pri usisu (UOU). Ovakvim postupkom izbjegava se zaustavljanje struje plina pred zatvorenim ventilom i na taj se način povećava stopa punjenja.

Dakle, usisni ventil otvorit će se **prije** potpunog zatvaranja ispušnog ventila. Nema opasnosti od miješanja s ispušnim plinovima, jer svjež zrak, zahvaljujući dobivenoj brzini (inerciji), istiskuje zapaljane plinove pri ulasku u cilindar.

Napomena

Stopa je punjenja odnos između količine smjese koja je ušla u cilindre i količine koja teoretski može ući; maksimalna stopa punjenja=1, prosječna stopa punjenja=0,5.

Usporavanje zatvaranja pri usisu (UZU). Iskorištava se inercija plinova kako bi se povećalo punjenje a ventil se ponovno zatvori tek kad klip dođe do DMT. Skraćenje vremena stlačivanja nadoknađuje se višim početnim tlakom na početku procesa stlačivanja.

Ubrzavanje paljenja (UP). Ovaj proces omogućuje ravnomjernu eksploziju s obje strane GMT. Na taj se način maksimalni tlak povećava.

Ubrzavanje otvaranja pri istiskivanju (UOI). Ovaj proces omogućuje brže snižavanje tlaka zapaljenih plinova kako bi se smanjila njihova sklonost stvaranju protutlaka.

Usporavanje zatvaranja pri istiskivanju (UZI). Koristi se inercija plinova kako bi se omogućilo njihovo što lakše istiskivanje. Ispušni ventil zatvorit će se na početku usisa.

Napomena

Površina S_2 povećava se, površine S_1 smanjuje se. **Korisni rad** motora **povećava se** (skica 7.17.).

Podsjetnik

Princip rada četverotaktnog motora

Radni ciklus četverotaktnog motora izvršava se u četiri pokreta klipa, odnosno dva okretaja koljenastog vratila.

Okretanje koljenastog vratila tijekom ciklusa jednako je: $360^\circ \times 2 = 720^\circ$.

Treći takt motora je: paljenje-širenje plina.

Preostala su tri takta – usis, stlačivanje i istiskivanje.

Teoretski dijagram

Idealni dijagram koji ne uzima u obzir određene čimbenike koji su prisutni u cilindru.

Na apscise (horizontalno) postavljaju se promjene obujma, a promjene tlaka postavljaju se na ordinate (vertikalno).

Shvaćanje pojma rada.

Rad motora računa se prema formuli $W = Fd$.

Korisni rad motora dobivamo tako da ukupnom području dijagrama oduzmemo područje koje predstavljaju tri takta motora – usis, stlačivanje i istiskivanje.

Zakoni termodinamike

Mariotte: izotermni proces ($pV = C^{te}$).

Poisson: adijabatski proces ($pV^\gamma = C^{te}$).

Charles: izohorni proces (pod stalnim obujmom).

Gay-Lussac: izobarni proces (pod stalnim tlakom).

Kritika teoretskog dijagrama

Početne hipoteze nisu dokazane:

- otvaranje ventila ne događa se trenutno;
- izgaranje se ne događa u nultom vremenu;
- tlak se ne izjednačava čim se ventil otvori;
- događaju se izmjene topline s vanjštinom.

Realni dijagram prije prilagodbe

Nedovoljan koristan rad i predugi taktovi motora.

Realni dijagram nakon prilagodbe

- Ubrzavanje otvaranja pri usisu (UOU) pred GMT i usporavanje zatvaranja pri usisu (UZU) iza DMT: poboljšanje punjenja omogućuje dobivanje višeg tlaka na početku stlačivanja.
- Ubrzavanje paljenja (UP) raspodjeljuje eksploziju s obje strane GMT: dolazi do povećanja tlaka i produžavanja vremena izgaranja.
- Ubrzavanje otvaranja pri istiskivanju (UOI) pred DMT i usporavanje zatvaranja pri istiskivanju (UZI) iza GMT.
- Smanjenje područja taktova istiskivanja.

Tehnološka rješenja

Kod motora ove prilagodbe izvršava sustav upravljanja ventilima.

Testirajte svoje znanje

1. Tijekom radnog ciklusa četverotaktnog motora klip izvrši: a. 2 pokreta b. 4 pokreta c. 8 pokreta
2. Tijekom radnog ciklusa četverotaktnog motora, koljenasto vratilo izvrši: a. 1 krug b. 2 kruga c. 4 kruga
3. Treći je takt: a. stlačivanje b. eksplozija-povećanje obujma c. istiskivanja
4. Najbolja stopa punjenja motora dobiva se povećavajući kut: a. UOU b. UOI c. UZI
5. U trenutku stlačivanja, tlak i temperatura plinova: a. rastu b. padaju c. ostaju isti

Za one koji žele znati više

1. Ako je tlak na početku procesa stlačivanja u motoru 1 bar, a radni obujam pojedinog cilindra 400 cm^3 , izračunajte tlak na kraju procesa stlačivanja imajući na umu da $v=40\text{cm}^3$. Uzmimo pretpostavku da je temperatura stalna.
2. Koje bi preinake trebalo izvršiti na omeđenom području dijagrama kako bi se povećao koristan rad motora?
3. Proučite u stručnim priručnicima podešenja sustava za upravljanje ventilima na primjeru dva motora po vašem izboru.
4. Navedite vrstu motora i vrijednosti na koje je podešen svaki od njih.

Održavanje

U praktičnom dijelu potrebno je proučiti listove druge razine na kraju priručnika *Održavanje automobila: vještine*:

List br. 30 – Upravljanje stlačivanjem.

8. Nacrt sustava za upravljanje ventilima

Podsjetimo se koje se preinake izvršavaju na motoru kako bi se povećao njegov rad.

U trenutku usisa:

UOU=ubrzanje otvaranja pri usisu,

UZU=ubrzanje otvaranja pri usisu.

U trenutku istiskivanja:

UOI=ubrzanje zatvaranja pri istiskivanju,

UZI=ubrzanje zatvaranja pri istiskivanju.

U kojem se položaju nalazi klip u trenutku otvaranja ventila, a u kojem u trenutku zatvaranja?

Klip se nalazi nekoliko milimetara **ispred** ili **iza mrtvih točaka** u trenutku usporavanja ili ubrzavanja (skica 8.1).

Primjer

Kod UOU, klip se nalazi nekoliko milimetara ispred GMT, na kraju istiskivanja prethodnog ciklusa.

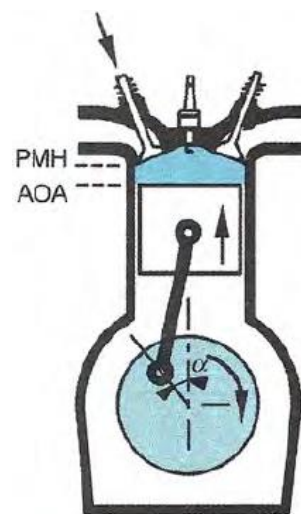
Možemo vidjeti da je u ovom položaju ležaj klipnjače smješten nekoliko stupnjeva od vertikale.

Nakon što smo zaključili da svakom položaju klipa odgovara neki kutni položaj koljenastog vratila, možemo izraziti vrijednosti podešavanja:

-bilo u milimetrima hoda klipa,

-bilo u stupnjevima okretanja koljenastog vratila.



S obzirom na to da ležaj klipnjače ostavlja izbrazdani trag tijekom svog okretanja, možemo izraditi kružni nacrt kuteva sustava za upravljanje ventilima.



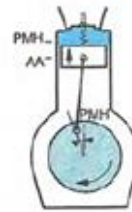




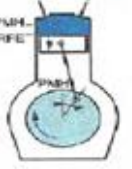



Skica 8.1. Položaj pojedinih elemenata u UOU

Što je to kružni nacrt?

Kružni nacrt kuteva upravljanja ventilima grafički je prikaz koji omogućuje vizualizaciju kuteva upravljanja ventilima motora (skice 8.2 do 8.12).

Podešavanje takta	Položaj klipa	Položaj koljenastog vratila	Međusobni položaj ventil-klip-koljenasto vratilo	Skica kružnog nacrt
UOU Početak usisa	x milimetara prije GMT	x stupnjeva prije GMT	 Fig. 8.2	 Fig. 8.3

Podešavanje takta	Položaj klipa	Položaj koljenastog vratila	Međusobni položaj ventil-klip-koljenasto vratilo	Skica kružnog nacrt
UZU Kraj usisa	x milimetara nakon DMT	x stupnjeva nakon DMT	Fig. 8.4 	Fig. 8.5 
UZU Kraj stlačivanja	x milimetara prije GMT	x stupnjeva prije GMT	Fig. 8.6 	Fig. 8.7 
Zapaljenje Širenje plina			Temps moteur	Fig. 8.8 
UOI Početak istiskivanja	x milimetara prije DMT	x stupnjeva prije DMT	Fig. 8.9 	Fig. 8.10 
UZI Kraj istiskivanja	x milimetara nakon GMT	x stupnjeva nakon GMT	Fig. 8.11 	Fig. 8.12 

Možemo utvrditi da, baš kao i na realnom dijagramu, vrijeme istiskivanja završava kad je vrijeme usisa već počelo.

To se naziva preklapanje ventila ili balansiranje ventila.

Kružni nacrti mogu imati nejednake kuteve (asimetrični nacrti) (skica 8.13) ili kuteve poput $UOU=UZI$ i $UOI=UZU$ (simetrični nacrti) (skica 8.14).

Napomena

Kružni nacrti prikazuju se uvijek u okretanju nadesno neovisno o tome koji je stvarni smjer okretanja motora.



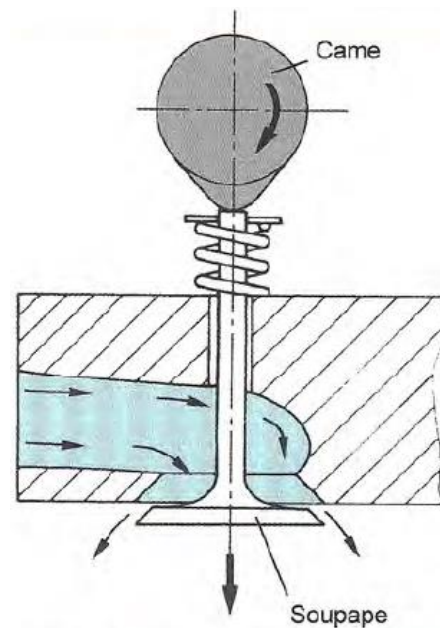
Skica 8.13. Asimetrični nacrt



Skica 8.14. Simetrični nacrt

Koja se tehnička rješenja koriste za upravljanje ventilima?

Svakim ventilom upravlja jedan brijeg (skica 8.15). Skup bregova postavljen je na osovinu koja se naziva bregasto vratilo.



Skica 8.15. Upravljanje ventilima.

Bregovi omogućuje pretvaranje kružnog kretanja osovine u izmjenično ravno gibanje ventila.

Kako se spaja sustav za upravljanje ventilima?

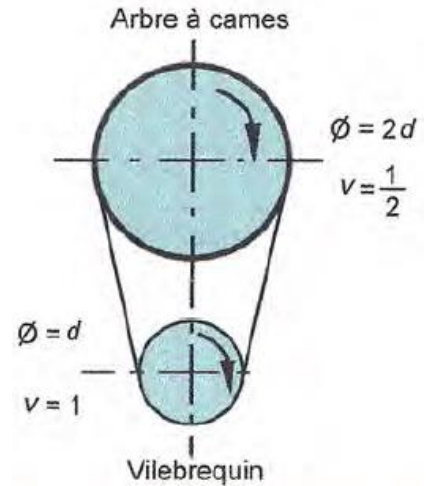
Spoj bregasto vratilo – koljenasto vratilo mora imati savršeno sinkroniziran sustav povezivanja.

Koja mora biti brzina okretanja bregastog vratila u odnosu na brzinu koljenastog vratila?

Ako promotrimo kružni prikaz, vidjet ćemo da se na svaka dva okretaja koljenastog vratila svaki ventil – usisni ili ispušni – otvori samo jednom.

Bregasto vratilo mora se okretati polovicom brzine koljenastog vratila (skica 8.16).

Radni ciklus četverotaktnog motora ostvara se u dva okretaja koljenastog vratila (720°) i jednom okretaju bregastog vratila (360°).



Skica 8.16. Spoj koljenasto-bregasto vratilo.

Koji je kut okretanja bregastog vratila u svakom taktu?

Primjer (skica 8.17)

Ako je $UOU=15^\circ$ a $UZU=45^\circ$, zbroj kuteva tijekom okretanja koljenastog vratila bit će:

$$15+180+45=240^\circ.$$

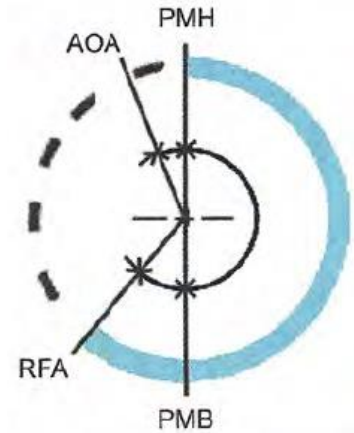
Pređeni kut koljenastog vratila tijekom jednog takta jest: kut ubrzavanja pri otvaranju + 180° + kut usporavanja pri zatvaranju:

$$\alpha_{kolj}=UOU+180^\circ+UZU$$

Budući da kad koljenasto vratilo napravi jedan krug, a bregasto vratilo napravi tek pola, ako koljenasto vratilo napravi krug od 240° , bregasto vratilo će napraviti krug od: $240/2=120^\circ$ (skica 8.18.).

Kut koji napravi bregasto vratilo tijekom jednog takta jest: kut koji napravi koljenasto vratilo podijeljeno na dva:

$$\alpha_{breg}=\alpha_{kolj}/2$$



Skica 8.17. Kut usisnog takta. $\alpha_{kolj} = UOU + 180^\circ + UZU$

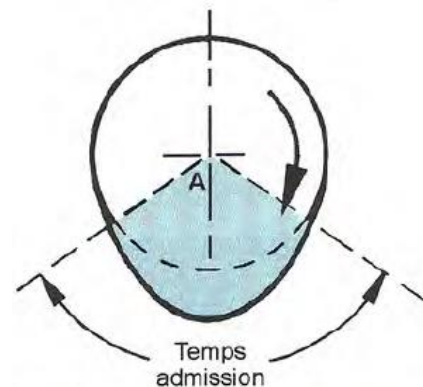
U kakvom su međusobnom položaju usisni i ispušni bregovi?

U radnom ciklusu motora četiri se takta izmjenjuju sljedećim redoslijedom: usis, stlačivanje, eksplozija – širenje plina i istiskivanje. Usis i istiskivanje taktovi su kod kojih je prisutno kretanje ventila (skica 8.19).

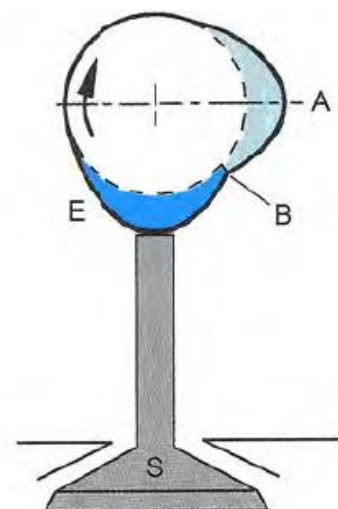
Ciklus se ponavlja nakon svakog takta istiskivanja, **a takt koji prethodi usisu plinova zapravo je istiskivanje iz prethodnog ciklusa.**

Ventili se dakle otvaraju redoslijedom **istiskivanje – usis.**

Ispušni brijeg smješten je četvrt okretaja prije usisnog brijega, u smjeru okretanja bregastog vratila (skica 8.20).



Skica 8.18. Kut ispušnog takta. $\alpha_{breg} = \alpha_{kolj} / 2$



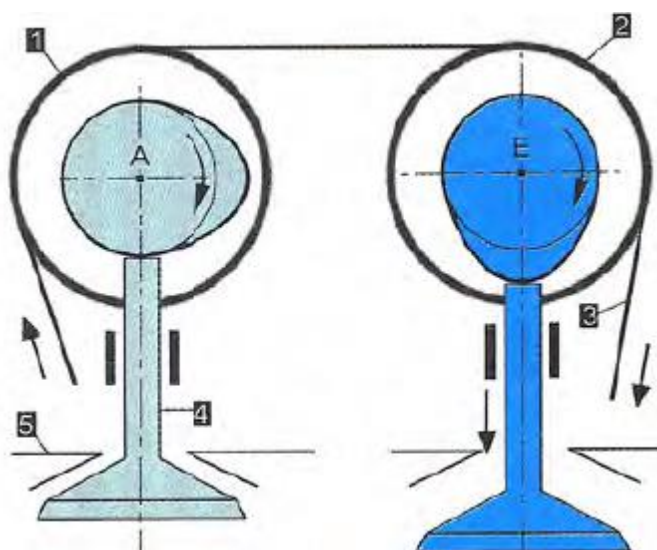
Skica 8.19. Položaj učvršćivanja bregova na isti bregasti remen.

E. Ispušni brijeg

S. Ispušni ventil

A. Usisni brijeg učvršćen na $\approx 1/4$ okretaja.

B. Točka u kojoj se ventili preklapaju (završetak istiskivanja \rightarrow početak usisa).



Skica 8.20. Položaj učvršćivanja usisnih bregova s obzirom na ispušne bregove u motoru s dva bregasta vratila ($\approx 1/4$ okretaja).

1. Zupčanik usisnog bregastog vratila.

2. Zupčanik ispušnog bregastog vratila.

3. Lanac ili zupčasti remen.

4. Ventil

5. Sjedište ventila

Podsjetnik

Uvod

Kružni nacrt grafički je prikaz kuteva upravljanja ventilima. Kutevi se izražavaju stupnjevima ubrzavanja ili usporavanja u odnosu na mrtve točke.

Kut UOU: x stupnjeva prije GMT.

Kut UZU: x stupnjeva iza DMT.

Kut UOI: x stupnjeva prije DMT u drugom okretaju.

Kut UZI: x stupnjeva iza GMT.

Praktična primjena

Otvaranjem i zatvaranjem ventila upravljaju bregovi smješteni na bregastom vratilu. Bregasto vratilo usklađeno je s koljenastim vratilom. Bregasto vratilo okreće se polovicom brzine koljenastog vratila.

Usklađivanje pokreta

Kut koji prijeđe koljenasto vratilo u jednom taktu jednak je:

Kutu ubrzavanja pri otvaranju + 180° + kut usporavanja pri zatvaranju.

Kut koji u istom taktu prijeđe bregasto vratilo jednak je kutu koji prijeđe koljenasto vratilo podijeljenom s dva. Usisni i ispušni bregovi smješteni su na oko 90° jedni naspram drugih, redoslijedom: istiskivanje – usis.

Testirajte svoje znanje

1. Kojom se brzinom okreće bregasto vratilo u odnosu na koljenasto vratilo? a. jednakom brzinom b. polovicom brzine c. dvostrukom brzinom
2. Koji dio motora omogućuje otvaranje i zatvaranje ventila? a. bregasto vratilo b. koljenasto vratilo c. klip
3. Kada se dva ventila istog cilindra otvore jedan za drugim, otvaraju se redoslijedom: a. usis/stlačivanje b. usis/istiskivanje c. istiskivanje/usis
4. Koji je položaj klipa u točki UOI? a. prije GMT b. prije DMT c. u GMT

Za one koji žele znati više

1. Odredite u kojim se položajima nalaze ležajevi klipnjače i ispušnog ventila u UOI te izradite odgovarajuću shemu.

2. Izračunajte kut koji prijeđe ispušni brijeg ako je $UOI=60^\circ$ a $UZI=20^\circ$.
3. Odredite veličine kuteva kod motora koji ima simetričan nacrt upravljanja ventilima i jednoga koji ima asimetričan nacrt. Izradite za svakoga od njih kružni nacrt.

5. Glossaire

Admission, n.f. – Usis

Alésage, n.m. – Provr̃t; bušenje

Alliage, n.m. – Legura, slitina

- d'aluminium – Legura aluminija
- léger – Laka slitina

Alpax, n.m. - Silumin

Arbre, n.m.

- à comes – Bregasto vratilo
- moteur – Osovina motora

Bielle, n.f. – Klipnjača

Bloc-cylindres, n.m. – Cilindarski blok

Bloc-moteur, n.m. – Blok motora

Borne de recharge, n.f. – Stanica za punjenje

Bougie d'allumage, n.f. – Svjećica

Carburant, n.m. - Gorivo

Carburateur, n.m. – Karburator/rasplinjač

Chambre de combustion, n.f. – Komora za izgaranje

Chaîne de distribution, n.f. – Zupčasti remen

Chemise, n.f. – Košuljica

- amovible – Izmjenjiva košuljica
- humide – Mokra košuljica
- sèche – Suha košuljica

Cheval-vapeur, n.m. – Konjska snaga

Compression, n.f. – Stlačivanje

Conduite, n.f. - Upravljanje

Consommation, n.f. - Potrošnja

Couple moteur, n.m. – Okretni moment motora

Course, n.f. – Hod

Coussinet, n.m. - Uložak

Couvre-culasse, n.m. – Poklopac glave motora

Croisement des soupapes, n.m. – Preklapanje ventila

Culasse, n.f. – Glava motora

Cycle de fonctionnement, n.m – Radni ciklus

Cylindre, n.m. – Cilindar

Cylindrée, n.f. – Radni obujam motora

- totale – Ukupni radni obujam motora
- unitaire – Pojedinačni radni obujam motora

Diagramme, n.m. – Dijagram

- théorique – Teorijski dijagram
- réel – Stvarni dijagram

Diesel, n.m. – Dizel

Dilatation, n.f. – Širenje

Distribution, n.f. – Sustav za upravljanje ventilima

Echappement, n.m. – Istiskivanje

Energie, n.f. – Energija

- chimique – Kemijska energija
- électrique – Električna energija
- mécanique – Mehanička energija
- thermique – Toplinska energija

Epure, n.f. – Nacrt

- asymétrique – Asimetrični nacrt
- circulaire – Kružni nacrt
- de distribution – Nacrt sustava za upravljanje ventilima
- symétrique – Simetrični nacrt

Essence, n.f. – Benzin

Evolution, n.f. – Proces

- isotherme – Izotermni proces
- adiabatique – Adijabatski proces
- isobare – Izobarni proces

Frein, n.m. – Kočnica

Fonte, n.f. – Sivi lijev

Frottement, n.m. – Trenje

- mécanique – mehaničko trenje
- électromagnétique – elektromagnetičko trenje
- hydraulique – hidrauličko trenje

Gazole, n.m. – Dizelsko gorivo

Gorge, n.f. – Žlijeb

Inertie, n.f. - Inercija

Inflammation, n.f. – Zapaljenje

Injection, n.f. – Ubrizgavanje

- directe – izravno ubrizgavanje
- d'huile – ubrizgavanje ulja
- indirecte – neizravno ubrizgavanje

Jupe, n.f. – Plašt

Liquide réfrigérant, n.m. – Tekućina za rashlađivanje

Lubrifiant, n.m. – Mazivo

Lubrifier, n.f. - Podmazati

Lumière, n.f. – Cijev

- d'admission – Usisna cijev
- d'échappement – Ispušna cijev

Maneton, n.m. - Vratilo

Moteur, n.m. – Motor

- à deux temps – Dvotaktni motor
- à essence – Benzinski motor
- à injection électronique (*common rail*) – Motor s elektroničkim ubrizgavanjem (*common rail*)
- atmosphérique – Atmosferski motor
- à quatre temps – Četverotaktni motor
- Diesel – Dizelski motor
- électrique – Električni motor

- rotatif – Rotacijski motor
- thermique – Toplinski motor
- turbo-compressé – Turbopunjeni motor

Motorisation, n.f. – Sustav motora; motorizacija

Palier, n.m. – Ležaj

Paroi, n.f. - Stijenka

Piston, n.m. – Klip

Point, n.m. – Točka

- d'allumage – Trenutak zapaljenja
- d'application – Područje djelovanja
- de fusion - Talište
- mort bas (PMB) – Donja mrtva točka (DMT)
- mort haut (PMH) – Gornja mrtva točka (GMT)

Puissance, n.f. – Snaga

- effective – efektivna snaga
- fiscale – porezna snaga

Rapport volumétrique, n.m. – Omjer kompresije

Refroidissement, n.m. – Hlađenje

- par eau - Vodeno hlađenje

Régule, n.m. – Bijela kovina

Rendement, n.m. - Iskoristivost

Segment, n.m. – Klipni prsten

Soupape, n.f. – Ventil

- d'admission – Usisni ventil
- d'échappement – Ispušni ventil

Tachymètre, n.m. – Brzinomjer

Taux de remplissage, n.m. – Stopa punjenja

Temps – Radni takt motora

Vilebrequin, n.m. – Koljenasto vratilo

Volant moteur, n.m. – Zamašnjak

6. Arborescence

7. Fiches terminologiques

Terme	Moteur thermique
Catégorie grammaticale	Nom masculin + adjectif
Domaine	Mécanique
Sous-domaine	Automobile
Définition	Moteur qui transforme l'énergie thermique en énergie mécanique (machine à vapeur, moteur à explosion).
Collocation	
Contexte	La raison d'être d'un moteur thermique est de fournir de la puissance. Machine qui transforme l'énergie calorifique, libérée par l'inflammation du combustible, en énergie mécanique (force motrice agissant sur le piston).
Source du contexte	Michel, Patrick. <i>La préparation des moteurs</i> , 1996, Editions Techniques pour l'Automobile et l'Industrie, Paris, p. 8
Synonyme(s)	Moteur à combustion interne
Hyperonyme(s)	Moteur
Hyponyme(s)	-
Equivalent en croate	Motor s unutrašnjim izgaranjem
Catégorie grammaticale	Nom masculin
Définition en croate	Uređaj koji pretvara toplinu u mehaničku energiju.
Synonyme	Toplinski motor
Contexte	Pogon većini današnjih automobila daju motori s unutrašnjim izgaranjem. Naime, energija potrebna za pokretanje vozila kod ovih se motora dobiva sagorijevanjem smjese goriva (benzina, diesela, alkohola, plina itd.) i zraka u cilindrima.
Source du contexte	Autonet – Hrvatski automobilski internet magazin, http://www.autonet.hr/nacelo-rada-motora (dernier accès le 10 juin 2015)

Terme	Soupape
Catégorie grammaticale	Nom féminin
Domaine	Mécanique
Sous-domaine	Automobile
Définition	Obturateur mobile généralement maintenu en position fermée qu'une pression peut ouvrir momentanément.
Collocation	-
Contexte	Les soupapes dans les moteurs thermiques assurent l'admission des gaz frais dans la chambre de combustion et l'échappement des gaz brûlés vers l'extérieur. Les soupapes doivent s'ouvrir et se fermer à des positions bien déterminées du vilebrequin. Ces mouvements doivent s'effectuer sans usure et sans bruit.
Source du contexte	Brun, Raymond. <i>Science et technique du moteur diesel industriel et de transport</i> , vol. 2, Technip, 1981, p.124
Synonyme(s)	Valve
Hyperonyme(s)	Distribution
Hyponyme(s)	Soupape d'admission, Soupape d'échappement
Equivalent en croate	Ventil
Catégorie grammaticale	Nom masculin
Définition en croate	Mehanička naprava zadužena za omogućavanje, odnosno onemogućavanje protoka tekućine ili plina.
Synonyme	-
Contexte	Ventili se obično nalaze na gornjem dijelu bloka motora. Najčešća je izvedba od po dva ventila po cilindru, dakle jedan usisni i jedan ispušni. U novijih vozila benzinskog motora pojavljuje se izvedba od četiri ventila po cilindru: dva usisna i dva ispušna. Ventili su pogonjeni bregastim vratilom koje je zupčastim remenom spojeno na koljenasto vratilo motora. Bregasto vratilo mora biti usklađeno s koljenastim vratilom zbog vremena otvaranja i zatvaranja ventila da klip ne udari o ventile dok se giba u cilindru.
Source du contexte	Autonet – Hrvatski automobilski internet magazin, www.autonet.hr (dernier accès le 05 août 2015)

Terme	Energie cinétique
Catégorie grammaticale	Nom féminin + adjectif
Domaine	Physique
Sous-domaine	Thermodynamique
Définition	Énergie que possède un corps en mouvement, elle est égale au produit de $\frac{1}{2}$ par la masse du corps en mouvement par sa vitesse au carré.
Collocation	Transformation de l'énergie cinétique
Contexte	L'énergie cinétique est l'énergie que possède un corps du fait de son mouvement. L'énergie cinétique d'un corps est égale au travail nécessaire pour faire passer le dit corps du repos à son mouvement. On peut déduire de cela, dans le cadre de la physique newtonienne, qu'une variation d'énergie cinétique d'un corps pendant une certaine durée est égale au travail des forces externes exercées sur ce corps.
Source du contexte	Futura Matière, www.futura-sciences.com (dernier accès le 15 avril 2015)
Synonyme(s)	-
Hyperonyme(s)	Energie
Hyponyme(s)	Énergie cinétique de rotation, Énergie cinétique de translation
Equivalent en croate	Kinetička energija
Catégorie grammaticale	Nom féminin
Définition en croate	Energija koju tijelo posjeduje kao posljedicu svoga gibanja nekom brzinom.
Synonyme	-
Contexte	Kinetička i potencijalna energija dva su osnovna oblika mehaničke energije. Oba oblika mogu se neposredno pretvoriti u rad, a mjere se upravo količinom rada koji mogu izvršiti. Kinetička je energija ona kojom neko tijelo raspolaže uslijed svog kretanja.
Source du contexte	Renovica, Ranko. <i>Komercijalno poznavanje robe</i> , Univerzitet Singidunum, Beograd. p.36

Terme	Fonte
Catégorie grammaticale	Nom féminin
Domaine	Métallurgie
Sous-domaine	Sidérurgie
Définition	Famille d'alliages ferreux qui ont des propriétés diverses et dont la structure métallurgique est toujours formée de plus d'un constituant. Ses éléments de base sont le fer, le carbone et le silicium.
Collocation	-
Contexte	Le matériau qui présente la double qualité de dureté et de bonne conductibilité thermique est la fonte. Ses qualités sont améliorées par divers procédés: nitruration, adjonction de silicium, manganèse, etc. De plus, elle est facilement moulable.
Source du contexte	Mèmeteau, Hubert. <i>Technologie fonctionnelle de l'automobile</i> , 1991, Dunod, Paris.
Synonyme(s)	Fonte grise
Hyperonyme(s)	Alliage
Hyponyme(s)	-
Equivalent en croate	Sivi lijev
Catégorie grammaticale	Nom masculin
Définition en croate	Željezni lijev male tvrdoće, vrlo dobre strojne obradivosti, otpornosti na koroziju te niskih troškova proizvodnje, rabi se za izradu odljevaka za postolja i dijelove strojeva.
Synonyme	Lijevano željezo
Contexte	Sivi lijev predstavlja konstrukcijski materijal koji je radi svojih svojstava i mogućnosti primjene uvijek zanimljiv za tehničku uporabu. Ovaj je materijal često i predmet zanimanja stručne javnosti, naročito vezane za probleme spajanja zavarivanjem ili popravaka havarirane konstrukcije. Tehnološka svojstva: -nema ograničenja veličine odljevaka; -jednostavna i jeftina proizvodnja. (...)
Source du contexte	Maroević, Franjo. <i>Problematika zavarivanja sivog lijeva</i> , 2007, Tehnički glasnik, Sveučilište Sjever, Koprivnica.

Terme	Couple moteur
Catégorie grammaticale	Nom masculin + adjectif
Domaine	Physique
Sous-domaine	Mécanique
Définition	Effort de rotation appliquée à un axe.
Collocation	Augmentation du couple moteur
Contexte	Le couple moteur est la force de poussée des gaz qui s'exerce sur le piston lors de l'explosion par l'intermédiaire de la bielle et du maneton de vilebrequin (manivelle) ; cette force provoque la rotation (temps moteur) du vilebrequin.
Source du contexte	Michel, Patrick. <i>La préparation des moteurs</i> , 1996, Editions Techniques pour l'Automobile et l'Industrie, Paris, p. 16
Synonyme(s)	-
Hyperonyme(s)	Couple
Hyponyme(s)	Couple moteur moyen constant, couple moteur moyen réel
Equivalent en croate	Okretni moment motora
Catégorie grammaticale	Nom masculin
Contexte	Okretni moment je umnožak sile i kraka na kojem djeluje pa motori s dužim hodom klipova u pravilu imaju i veći okretni moment. Sila koja gura klip i djelujući na rukavac koljena radilice (koljenastog vratila) stvara okretni moment, ovisi o efektivnom tlaku u cilindru, koji je kod suvremenih turbodizelaša veći od 20 bara, a kod benzinaca je upola manji. Zbog toga motori s više okretnog momenta na nižim okretajima znatno bolje vuku, bolje reagiraju na gas i ugodniji su za vožnju.
Source du contexte	Dr. Marušić, Željko. <i>Snaga na papiru, moment na asfaltu</i> , www.jutarnji.hr (dernier accès le 6 mai 2015)
Définition en croate	Umnožak sile (generirane djelovanjem plinova izgaranja na čelo klipa) i kraka na kojem ta sila djeluje.
Synonyme	Zakretni moment motora, obrtni moment motora

Terme	Aluminium
Catégorie grammaticale	Nom masculin
Domaine	Chimie
Sous-domaine	Métallurgie
Définition	Métal blanc, léger, beaucoup utilisé dans l'industrie et les secteurs du transport et de la construction où sa faible densité, sa longévité et sa résistance sont nécessaires.
Collocation	-
Contexte	L'aluminium est un métal produit par électrolyse de l'alumine. C'est un métal très léger dont la densité est un tiers de celle de l'acier ou du cuivre. Il est utilisé très majoritairement sous forme d'alliages dont le constituant principal est l'aluminium, les éléments d'addition pouvant représenter jusqu'à 15% de son poids.
Source du contexte	Aluminium, www.aluminium.fr (dernier accès le 01 juillet 2015)
Synonyme(s)	Alu (abrév. fam.)
Hyperonyme(s)	Métal
Hyponyme(s)	Aluminium pur Aluminium alliée
Equivalent en croate	Aluminij
Catégorie grammaticale	Nom masculin
Définition en croate	Kemijski element, lagani metal srebrnastobijele boje koji se industrijski proizvodi od glinice.
Synonyme	-
Contexte	Aluminij je metal koji je poslije kisika najrasprostranjeniji element u zemljinoj kori, gdje ga ima 8%. Legure aluminija koriste se u građevinarstvu, prehrambenoj industriji, kriogenoj tehnici, te za izradu ambalaže. Aluminij je oko 2,9 puta lakši od čelika, ima dobra mehanička svojstva pri niskim temperaturama etc.
Source du contexte	Dr. Sc. Samardžić, I. <i>Analiza tehnološkiosti zavarenih konstrukcija</i> . Sveučilište J.J. Strossmayera, 1999, Osijek.

Terme	Cylindrée
Catégorie grammaticale	Nom féminin
Domaine	Mécanique
Sous-domaine	Automobile
Définition	Volume engendré par la course des pistons dans les cylindres d'un moteur à explosion.
Collocation	Voiture de 2000 cm ³ de cylindrée ;
Contexte	La cylindrée est obtenue par le volume balayé par le piston entre le Point mort Bas et le Point mort Haut. On distinguera cylindrée unitaire (1 seul cylindre) et cylindrée totale (tous les cylindres).
Source du contexte	Bodin, G. et Cournut, J.L. <i>Fonctionnement et Maintenance du véhicule</i> , tome 2 : Moteurs, Editions Delta Press, 1997, Marseille.
Synonyme(s)	-
Hyperonyme(s)	Cylindre
Hyponyme(s)	Cylindrée totale, Cylindrée unitaire
Equivalent en croate	Obujam motora
Catégorie grammaticale	Nom masculin
Définition en croate	Umnožak obujma jednog cilindra i broja cilindara. Najčešće se izražava u litrama, te u kubičnim centimetrima.
Synonyme	Kubikaža
Contexte	Obujam nekog motora možemo predstaviti kao umnožak obujma jednog cilindra i broja cilindara. Obujam motora najčešće se izražava u litrama (u komercijalne svrhe ili kao oznaka modela) te u kubičnim centimetrima (npr. u tehničkim podacima, prema SI sustavu).
Source du contexte	Autonet – Hrvatski automobilski internet magazin, www.autonet.hr (dernier accès le 9 mai 2015)

Terme	Bloc-moteur
Catégorie grammaticale	Nom masculin + adjectif
Domaine	Mécanique
Sous-domaine	Automobile
Définition	Ensemble constitué par le moteur, l'embrayage et la boîte de vitesses.
Collocation	-
Contexte	Pièce maîtresse du véhicule, le bloc est coiffé par la culasse et sa partie basse est fermée par le carter d'huile permettant la lubrification de toutes les pièces en mouvement. C'est sur le bloc que la plupart des pièces nécessaires au fonctionnement du moteur sont fixées. Il subit de fortes contraintes (température, frottements). Le bloc moteur peut être en fonte ou en aluminium, les cylindres peuvent être "pleine fonte" (usinés dans la masse) ou chemisés (chemises sèches ou humides).
Source du contexte	Rectification et Usinages de pièces moteurs, www.rectif2000.com (dernier accès le 6 juin 2015)
Synonyme(s)	Bloc-cylindres
Hyperonyme(s)	Moteur
Hyponyme(s)	Culasse, carter d'huile
Equivalent en croate	Blok motora
Catégorie grammaticale	Nom masculin
Définition en croate	Temeljni dio konstrukcije samog motora; na njega su pričvršćeni svi ostali dijelovi motora. Izrađuje se uglavnom od aluminija.
Synonyme	Cilindarski blok
Contexte	Blok motora koji obuhvaća najvažnije dijelove motora, obično je zajedno s kućištem koljenastog vratila u jednom odljevku. Najčešće su blokovi izrađeni od sivog lijeva koji je relativno velike tvrdoće, a u masovnoj proizvodnji se može lako i jeftino obrađivati. Rjeđe se za izradu blokova upotrebljavaju i slitine lakih kovina. Odlikuje ih manja težina i bolje provođenje topline, ali su skuplje. Budući da bi se cilindri od lakog lijeva prebrzo istrošili, u provrte se obično umeću košuljice od specijalnog sivog lijeva.
Source du contexte	Oktani, www.oktani.com (dernier accès le 01 juin 2015)

Terme	Carburateur
Catégorie grammaticale	Nom masculin
Domaine	Mécanique
Sous-domaine	Automobile
Définition	Appareil dans lequel un carburant vaporisé est mélangé à l'air pour alimenter un moteur à explosion.
Collocation	
Contexte	Le carburateur est destiné à préparer le mélange gazeux air-carburant nécessaire au fonctionnement du moteur à explosion. Il a également pour rôle de régler, à volonté, la vitesse et le couple du moteur. Les conditions à respecter dans la préparation du mélange sont au nombre de deux : 1) L'homogénéité, qui doit assurer la meilleure pulvérisation possible. 2) Le dosage, qui doit être constant à tous les régimes, sans pour autant exclure la possibilité de le faire varier dans des conditions particulières (départ à froid ou accélération rapide).
Source du contexte	Motorlegend, www.motorlegend.com (dernier accès le 01 juin 2015)
Synonyme(s)	
Hyperonyme(s)	Carburant, moteur
Hyponyme(s)	Mélange gazeux
Equivalent en croate	Rasplinjač
Catégorie grammaticale	Nom masculin
Définition	Dio motora u kojem se stvara smjesa zraka i goriva za motor s unutrašnjim izgaranjem.
Synonyme	Karburator
Contexte	Rasplinjač mora osigurati lagano puštanje motora u rad, po potrebi naglo ubrzanje, na dugim vožnjama mora štedjeti gorivo, razvijati punu snagu i ne dopustiti da motor iznenada prestane raditi. Ukratko: rasplinjač mora pripremiti smjesu goriva i zraka, koja je u određenom trenutku potrebna za izgaranje u cilindrima, i u pravim količinama dovoditi je pojedinim cilindrima.
Source du contexte	Prometna zona, www.prometna-zona.com (dernier accès le 09 août 2015)

Terme	Turbocompresseur
Catégorie grammaticale	Nom masculin
Domaine	Mécanique
Sous-domaine	Automobile
Définition	Système de suralimentation employé sur les moteurs à combustion interne et à explosion pour augmenter leur puissance.
Collocation	-
Contexte	Le turbocompresseur comprime l'air extérieur et l'injecte à haute pression dans le moteur. Les qualités du moteur turbocompressé sont nombreuses mais la plus révélatrice est le rendement. Les moteurs type atmosphériques produisent, en général, aux alentours de 150 chevaux pour deux litres de cylindrée. Pour un litrage équivalent, un moteur Turbo peut développer 200 chevaux et même au-delà.
Source du contexte	Tordjman, Jérôme. <i>Le grand méchant turbo ou le rouleau compresseur</i> , www.automobile-sportive.com (dernier accès le 01 août 2015)
Synonyme(s)	Turbo
Hyperonyme(s)	Système de suralimentation
Hyponyme(s)	Turbine
Equivalent en croate	Turbopunjač
Catégorie grammaticale	Nom masculin
Définition en croate	Vrsta kompresora kojemu je svrha povećanje snage motora i ušteda energije, te smanjenje ispuštanja štetnih plinova.
Synonyme	Turbopuhalo
Contexte	Prednost smanjivanja obujma zraka koji ulazi u motor kroz usisnu granu je da dozvoljava motoru da ima više zraka u cilindru, a samim tim više goriva treba da bi se napravila odgovarajuća smjesa. Upravo zbog toga dobiva se više snage iz svake eksplozije unutar svakog cilindra motora. Motor sa turbopunjačem po definiciji proizvodi više snage od motora koji nema turbopunjač, a to značajno poboljšava odnos snaga / mase motora.
Source du contexte	Autoportal, www.autoportal.hr (dernier accès le 25 juillet 2015)

Terme	Cheval-vapeur
Catégorie grammaticale	Nom masculin + nom masculin
Domaine	Mécanique
Sous-domaine	Automobile
Définition	Ancienne unité de puissance qui correspond à environ 736 watts (symbole ch).
Collocation	
Contexte	Le cheval-vapeur est une unité de puissance égale à 75 kilogrammètres par seconde, soit environ 735,5 watts. L'emploi du cheval-vapeur devait théoriquement cesser au 31 décembre 1977. Cette unité ne doit pas être confondue avec le cheval-vapeur fiscal qui sert, en France, à indiquer la puissance fiscale conventionnelle liée à la cylindrée du moteur et au rapport de transmission.
Source du contexte	Dubesset, M. <i>Le manuel du Système international d'unités</i> , TECHNIP, 2000, Paris, p. 46
Synonyme(s)	-
Hyperonyme(s)	Puissance
Hyponyme(s)	Chevaux-vapeur fiscaux
Equivalent en croate	Konjska snaga
Catégorie grammaticale	Nom féminin
Définition en croate	Naziv za više starih mjernih jedinica za snagu izvan sustava SI. Definira se kao snaga potrebna da se masa od 75 kilograma podigne (djelujući silom od 75 kiloponda) na visinu od 1 metra u vremenu od 1 sekunde.
Synonyme	Konji
Contexte	Kako bi na neki način opisali napor koji su konji od davnina ulagali radeći ne baš ugodne poslove, znanstvenici su svojedobno pokušali opisati rad (što ga je konj izvršio), vrijeme (koje je konj proveo radeći) te međudnose ovih dvaju vrijednosti. Dakle, jedna KS = 75 kg x m / s. Recimo i to da električna konjska snaga iznosi točno 746 W. To znači da električni motor snage od 60 kW razvija (zaokruženo) 80 KS.
Source du contexte	Autonet, www.autonet.hr , (dernier accès le 01 août 2015)
Note linguistique	L'acronyme du terme cheval-vapeur en français est CH, en croate KS (konjska snaga).

Terme	Puissance effective
Catégorie grammaticale	Nom féminin + adjectif
Domaine	Mécanique
Sous-domaine	Automobile
Définition	Travail (du moteur) par unité de temps, mesuré à l'aide d'un frein dynamométrique.
Collocation	Déterminer la puissance effective
Contexte	La puissance effective P_e recueillie sur l'arbre est le produit du couple C et de la vitesse angulaire ω . Un moteur d'automobile présente une puissance effective généralement comprise entre 30 et 140 kW. La puissance d'un moteur de camion varie de 150 à 400 kW.
Source du contexte	Guibet, J.-C. <i>Carburants et moteurs – Technologie, Énergie, Environnement</i> , Publications de l'institut français du pétrole, Éditions Technip, Paris, 1997, p. 150.
Synonyme(s)	Puissance réelle
Hyperonyme(s)	Puissance
Hyponyme(s)	-
Equivalent en croate	Efektivna snaga
Catégorie grammaticale	Nom féminin
Définition en croate	Snaga na spojci koljenastoga vratila koja se može matematički odrediti ili mjeriti kočenjem s pomoću hidraulične, Pronijeve ili elektromagnetske kočnice.
Synonyme	Korisna snaga
Contexte	(...) pojam efektivni odnosi se na veličine vezane uz izlaz snage na spojci motora. (...) U praznom hodu motor radi bez opterećenja, efektivna snaga P_e jednaka je nuli. Kod punog opterećenja mehanički stupanj djelovanja poprima najveće vrijednosti. Efektivna snaga (W) motora na spojci određuje se mjerenjem na kočnici.
Source du contexte	Mahalec, I., Lulić, Z., Kozarac, D. <i>Motori s unutarnjim izgaranjem</i> , Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010, p.65

8. Conclusion

Nous avons élaboré ce mémoire de master pour illustrer comment employer les outils et connaissances terminographiques avec le but de traduire un texte spécialisé concernant l'industrie automobile. Nous nous sommes servi d'un corpus de plusieurs textes pertinents et des outils développés par la terminographie dont le but n'est pas seulement de présenter une traduction mais aussi une analyse qui pourrait aider une personne sans connaissances de la matière à se familiariser avec le domaine automobile. Les différences entre le langage de spécialité en français et en croate nous ont posé quelques problèmes quand nous avons traduit le texte étant donné que dans plusieurs situations le croate offre plusieurs termes pour un seul terme en français. Mais, ce qui nous a facilité la traduction c'est qu'en général la langue de spécialité est assez cohérente et ne donne pas beaucoup de liberté au traducteur. À la différence de la littérature, dans ce type de textes il est obligatoire de rester le plus fidèle au texte original, de même que dans les textes juridiques ou médicaux. Nous avons décrit plusieurs termes en utilisant les fiches terminologiques et nous avons employé aussi l'arbre analogique pour montrer comment ces termes sont liés les uns aux autres. Dans ce cas nous avons éprouvé quelques difficultés dont nous avons parlé dans le chapitre consacré à l'arborescence, mais ce qu'il faut ajouter encore une fois c'est qu'il n'est pas toujours possible de trouver la représentation parfaite de l'arborescence – on peut toujours faire des changements mais cela ne va pas nécessairement améliorer la structure de l'arborescence. Nous espérons que notre travail apportera un outil utile aux traducteurs et aux techniciens.

9. Résumé

Ce travail présente, illustre et explique les étapes de création d'un travail terminographique et donne les définitions des notions essentielles qui concernent la terminographie et la terminologie. La base pour la traduction est un texte en français destiné aux non-spécialistes et qui aborde les automobiles et leur fonctionnement. Nous avons utilisé une partie de ce texte et d'autres textes journalistiques et spécialisés pour créer un corpus. Ce corpus nous a servi pour repérer les termes pertinents à notre domaine et pour créer un glossaire bilingue franco-croate, pour rédiger les fiches terminologiques et finalement les présenter sur l'arborescence. Ces trois outils sont essentiels lors de la préparation d'un travail terminographique, étant donné qu'ils permettent aux profanes de connaître un domaine plus facilement mais ils peuvent être utilisés aussi par des spécialistes. Les termes que nous avons repérés dans le corpus nous ont servi pour rédiger les fiches terminologiques où nous avons décrits les termes pertinents pour notre domaine. L'arborescence est une représentation graphique qui nous permet de montrer les relations hiérarchiques des termes subordonnés appelés hyponymes et des termes superordonnés appelés hyperonymes. Il y a plusieurs difficultés de traduction et de création de l'arborescence qui ont été décrites dans la partie théorique qui ont pour cause le manque de cohérence de la terminologie de notre domaine en croate.

Mots clés : traduction, terminographie, terminologie, moteurs thermiques, mécanique

10. Sažetak

Ovaj rad objašnjava etape stvaranja terminografskog rada i donosi definicije temeljnih pojmova koji se tiču terminografije i terminologije. Osnova za stvaranje prijevoda bila je tekst na francuskom namijenjen nespecijalistima a koji obrađuje automobile i njihovo funkcioniranje. Iskoristili smo dio ovog teksta kao i druge novinarske i specijalizirane tekstove kako bismo stvorili korpus. Ovaj nam je korpus poslužio kao bismo pronašli termine relevantne za našu domenu te kako bismo stvorili dvojezični francusko-hrvatski glosar, kako bismo sastavili terminološke kartice i prikazali ih na konceptualnom stablu. Ovi su alati nužni za pripremu terminografskog rada, budući da omogućuju nestručnjacima mnogo lakše upoznavanje s domenom, ali mogu ih koristiti i specijalisti. Termini koje smo pronašli u korpusu poslužili su nam za sastavljanje terminoloških kartica gdje smo opisali termine relevantne za našu domenu. Konceptualno stablo grafički je prikaz koji nam omogućuje prikazivanje hijerarhijske odnose podređenih pojmova, koje nazivamo hiponimi, te nadređenih pojmova, koje nazivamo hiperonimi. Više je teškoća u prevođenju koje su opisane u teorijskom dijelu, a kojima je uzrok manjak koherentnosti terminologije naše domene u hrvatskom jeziku.

Ključne riječi : prevođenje, terminografija, terminologija, motori s unutrašnjim izgaranjem, mehanika

11. Bibliographie

AUTONET – hrvatski automobilski internet magazin, (dernier accès le 01 août 2015), disponible sur : www.autonet.hr,

BODIN, G. et Cournut, J.L. *Fonctionnement et Maintenance du véhicule, Tome 2 : Moteurs*, Éditions Delta Press, Marseille, 1997.

BRUN, R. *Science et technique du moteur diesel industriel et de transport*, vol.2, Technip, Paris 1981.

DELBECQUE, N. *Linguistique cognitive – Comprendre comment fonctionne le langage*, De Boeck, Paris, 2006.

DUBESSET, M. *Le manuel du Système international d'unités*, TECHNIP, Paris, 2000.

FRANCOEUR, A. La fiche terminologique, entre théorie et pratique, *Langues et linguistique*, n. 35, Université Laval, 2015, p. 24-39.

GOUADEC, D. *Terminologie – Constitution de données*, Collection AFNOR Gestion, Paris, 1990.

GUIBET, J.-C. *Carburants et moteurs – Technologie, Énergie, Environnement*, Publications de l'institut français du pétrole, Éditions Technip, Paris, 1997.

MAHALEC, I., LULIĆ, Z., KOZARAC, D. *Motori s unutarnjim izgaranjem*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010.

MAROEVIĆ, F. *Problematika zavarivanja sivog lijeva*, Tehnički glasnik, Sveučilište Sjever, Koprivnica, 2007.

MÈMETAU, H. *Technologie fonctionnelle de l'automobile*, Dunod, Paris, 1991.

MICHEL, P. *La préparation des moteurs*, Éditions Techniques pour l'Automobile et l'Industrie, Paris, 2006.

MIHALJEVIĆ, M. et HUDEČEK, L. *Hrvatski terminološki priručnik*, Institut za hrvatski jezik i jezikoslovlje, Zagreb, 2009.

PAVEL, S. et NOLET, D. *Précis de terminologie*, Ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux, Ottawa, 2001.

PITAR, M. La fiche terminologique – expansion et applications, *Scientific Bulletin of the « Politehnica » University of Timișoara*, Vol. 10, no. 1-2, Timișoara, 2011, p. 70-83.

RENOVICA, R. *Komercijalno poznavanje robe*, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2010.

SAMARDŽIĆ, I. *Analiza tehnološkičnosti zavarenih konstrukcija*, Sveučilište J.J. Strossmayera, 1999, Osijek.

TORDJMAN, J. *Le grand méchant turbo ou le rouleau compresseur*, (dernier accès le 01 août 2015), disponible sur : www.automobile-sportive.com

ZAFIO, M. Z. L'arbre de domaine en terminologie, *Meta : journal des traducteurs / Meta : Translators' Journal*, vol. 30, n° 2, 1985, p. 161-168.

Annexe : Textes originaux

HUBERT MÈMETEAU

TECHNOLOGIE FONCTIONNELLE DE L'AUTOMOBILE

1 Le moteur et ses auxiliaires

5^e édition

**25 leçons
avec tests
d'auto-évaluation
corrigés**

Table des matières

AVANT-PROPOS	VII
CHAPITRE 1 : Approche de l'automobile	1
Leçon 1 : Connaissance de l'automobile	1
Leçon 2 : Les sous-ensembles de l'automobile	8
Leçon 3 : Le châssis-carrosserie	18
CHAPITRE 2 : Le système de motorisation	31
Leçon 4 : Classification des moteurs	31
Leçon 5 : Les éléments constitutifs du moteur	38
Leçon 6 : Les caractéristiques des moteurs	48
CHAPITRE 3 : Le fonctionnement du moteur	55
Leçon 7 : Le cycle à quatre temps	55
Leçon 8 : L'épure de distribution	64
Leçon 9 : Les éléments de la distribution	69
Leçon 10 : L'équilibrage des moteurs. Les ordres de fonctionnement	77
Leçon 11 : Le cycle à deux temps	86
CHAPITRE 4 : Les circuits annexes	91
Leçon 12 : Le système de graissage des moteurs	91
Leçon 13 : Le refroidissement des moteurs	99
CHAPITRE 5 : La carburation	107
Leçon 14 : Les combustibles et la combustion	107
Leçon 15 : La carburation	115
Leçon 16 : L'alimentation-carburation par carburateur	121
Leçon 17 : Les systèmes d'injection d'essence	128
CHAPITRE 6 : L'allumage des moteurs à essence	141
Leçon 18 : Principe de l'allumage	141
Leçon 19 : Les variations d'avance à l'allumage	150
Leçon 20 : Les systèmes d'allumage à impulsions	156
Leçon 21 : L'allumage électronique intégral	164
CHAPITRE 7 : Les moteurs Diesel	173
Leçon 22 : Principe du moteur Diesel	173
Leçon 23 : Principe du système d'injection des moteurs Diesel	181
Leçon 24 : Fonctionnement des systèmes d'injection	187
Leçon 25 : Suralimentation et rendement des moteurs thermiques	198
Corrigés des tests d'auto-évaluation	209
Unités et schématisation	210
INDEX	213

Le système de motorisation

4

Classification des moteurs

■ Quels sont les types de moteurs utilisés en automobile ?

L'automobile peut être équipée de deux types de motorisation :

- les **moteurs électriques** (figure 4.1) ;
- les **moteurs thermiques** (figure 4.2).

■ Quels sont les avantages des véhicules à moteur électrique ?

Les moteurs électriques présentent certains avantages :

- une pollution quasiment nulle ;
- un silence de fonctionnement ;
- une simplicité de conduite.

Leur utilisation est bien adaptée aux grandes agglomérations dans lesquelles :

- les problèmes de nuisances dus à l'automobile sont plus importants ;
- le réseau de bornes de recharge rapide est plus dense.

(→ Tome 2, Leçon 24)

■ Quels sont les avantages des véhicules à moteur thermique ?

Bien que le rendement (→ Leçon 26) des moteurs thermiques soit inférieur à celui des moteurs électriques, le rapport masse/puissance reste favorable au moteur thermique.

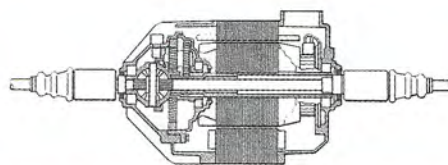


Figure 4.1 • Moteur électrique.

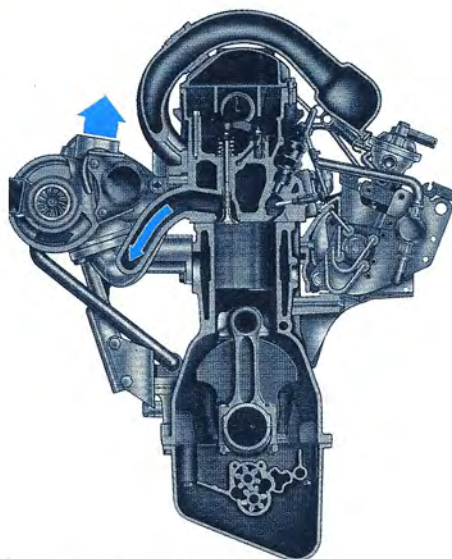


Figure 4.2 • Moteur thermique (document Citroën).

Leur autonomie importante les destine aux longues distances.

Leur adaptation à l'automobile est le fruit d'un siècle d'évolution.

Remarque

Le système « hybride » comporte un ou plusieurs moteurs électriques alimentés par un groupe électrogène à moteur thermique. (→ Tome 2, Leçon 24)

■ Quelles sont les deux grandes familles de moteurs thermiques ?

On distingue :

- les moteurs **à explosion** (à essence) (figure 4.3) dans lesquels la **combustion du mélange** air/essence est amorcée par l'**étincelle** d'une **bougie d'allumage**. Ils possèdent donc un système d'**allumage commandé**. Le mélange air/essence peut s'effectuer par :
 - **carburateur**,
 - **injection d'essence**.
- les moteurs **à combustion** (Diesel) (figure 4.4) dont la combustion est déclenchée par l'**injection de gazole** sous pression dans de l'**air fortement comprimé**. Il se produit une **auto-inflammation**, ce qui signifie que le mélange s'enflamme spontanément.

■ Quelles sont les phases du cycle de fonctionnement des moteurs thermiques ?

L'ingénieur français **Beau de Rochas** a défini, en 1862, le principe du **cycle de fonctionnement** des moteurs à **combustion interne** dont les phases sont :

1. l'**admission** : aspiration d'air ou de mélange air/essence ;
2. la **compression** de l'air ou du mélange ;
3. l'**inflammation** rapide et la **détente** du piston ;
4. l'**échappement** des gaz brûlés.

■ Quelles sont les applications de ce cycle ?

Il en existe trois types :

- les moteurs **à quatre temps** (figure 4.5) qui réalisent le cycle en **quatre courses de piston** et deux tours de vilebrequin ;
- les moteurs **à deux temps** (figure 4.6) qui réalisent le cycle en **deux courses de piston** et un tour de vilebrequin ;
- les moteurs **rotatifs** (peu répandus) (figure 4.7) dont le mouvement rectiligne alternatif du piston classique est remplacé par la **rotation d'un rotor** qui réalise le cycle trois fois par tour.



Figure 4.3 • Moteur à explosion (document Citroën).



Figure 4.4 • Moteur à combustion (Diesel) (document Citroën).

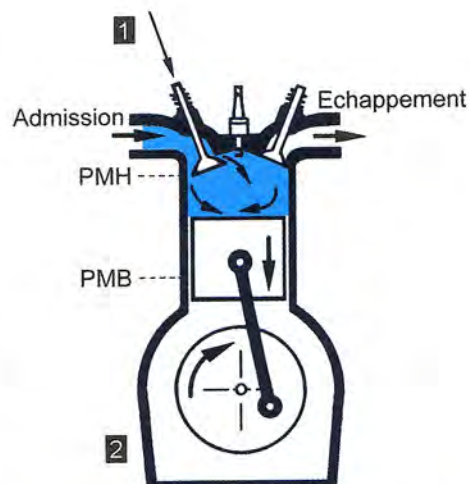


Figure 4.5 • Moteur à quatre temps.

- 1 Soupapes.
- 2 Carter non étanche.

Remarque

Ces moteurs peuvent être « atmosphériques » ou « turbo-compressés ».

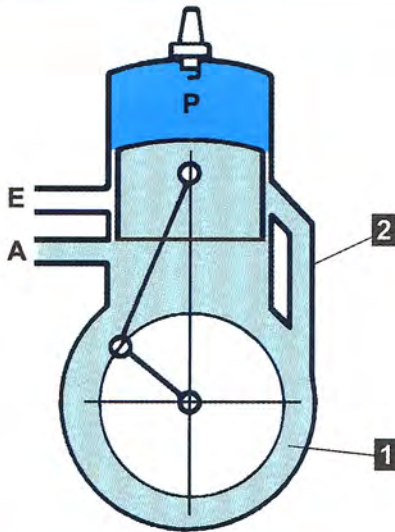


Figure 4.6 • Moteur à deux temps.

- ① Carter étanche.
- ② Transfert.
- A et E. Lumières d'admission et d'échappement.

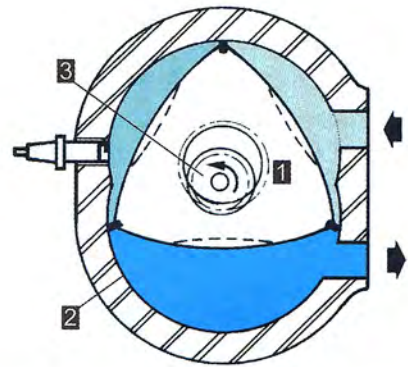


Figure 4.7 • Moteur à piston rotatif.

- ① Piston ou rotor.
- ② Stator ou épitrochoïde.
- ③ Vilebrequin.

2
Le système
de motorisation

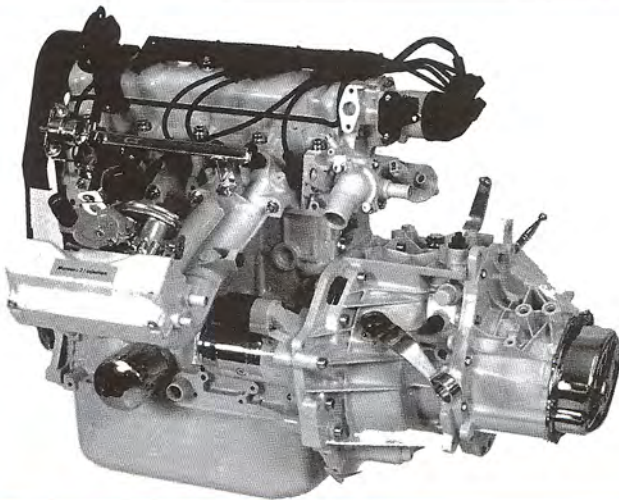


Figure 4.8 • Moteur à essence à quatre temps à injection (document Citroën).

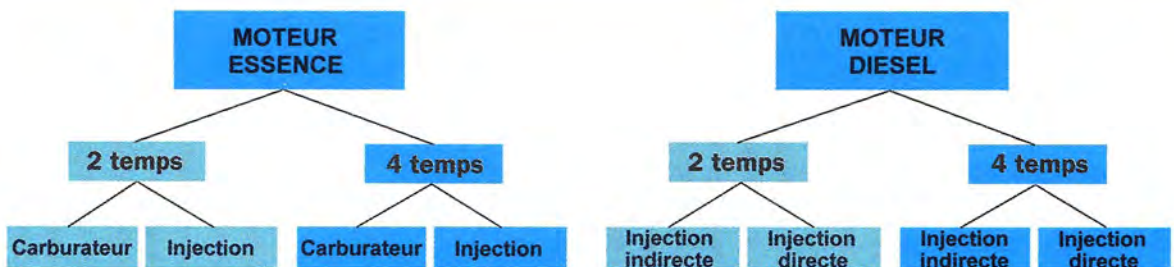


Figure 4.9 • Récapitulatif des différents types de moteurs thermiques.

Ne pas confondre :

- **Injection indirecte d'essence** : injection d'essence à basse pression en amont de la soupape d'admission (→ Leçon 18) au temps d'admission.
- **Injection indirecte Diesel** : injection de gazole à haute pression dans une chambre de précombustion en fin de compression.
- **Injection directe Diesel** (figure 4.10) : injection de gazole à très haute pression directement dans le cylindre en fin de compression (→ Leçon 24).
- **Injection d'huile** (deux temps) : le mélange essence/huile est effectué par injection d'huile spéciale deux temps dans le carburant au temps d'**admission**.

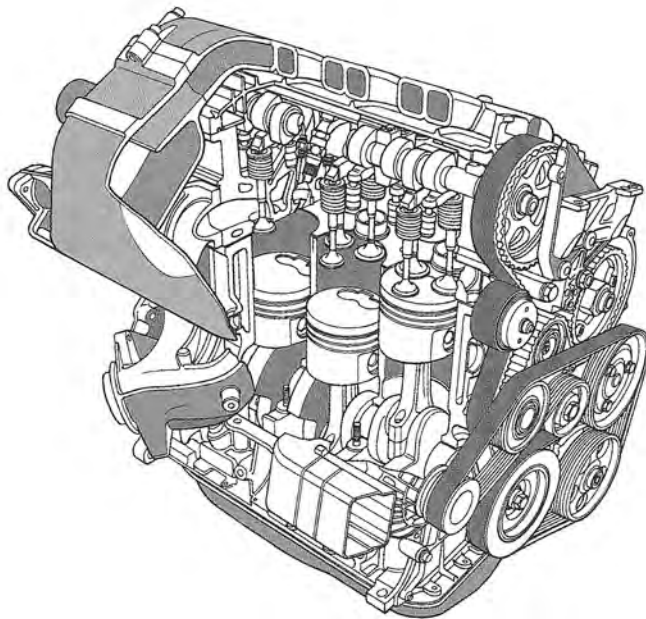
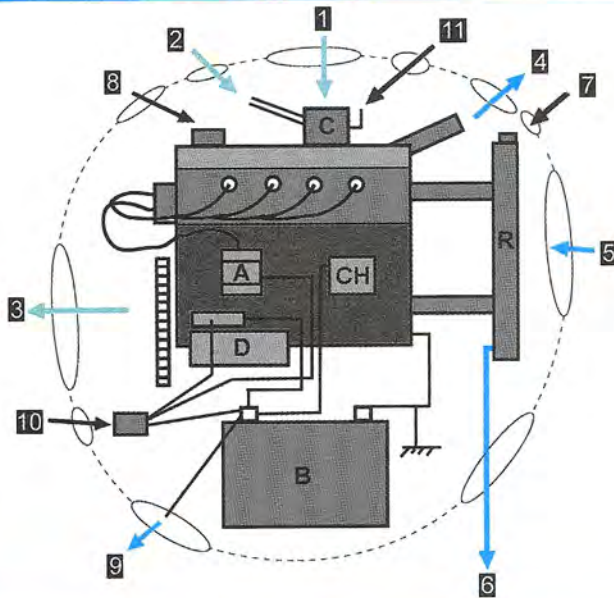


Figure 4.10 • Moteur Diesel à injection directe (document Renault).

■ Observons le système de motorisation dans son ensemble (figures 4.11 et 4.12 page suivante).

- 1 Admission d'air.
- 2 Admission de carburant (énergie chimique).
- 3 Production d'énergie mécanique.
- 4 Évacuation des gaz brûlés (énergie thermique perdue).
- 5 Passage d'air frais dans un échangeur (radiateur).
- 6 Évacuation de chaleur (énergie thermique perdue).
- 7 Présence d'un liquide réfrigérant.
- 8 Présence d'un lubrifiant.

- 9 Production d'énergie électrique.
- 10 Action du conducteur sur un combiné allumage/démarrage.
- 11 Action du conducteur sur l'accélérateur.



A. Système d'allumage.
C. Système de carburation/injection.
CH. Système de charge.
D. Système de démarrage.
R. Système de refroidissement.

Figure 4.11 • Frontière d'étude du système de motorisation (ce système est développé dans la totalité du Tome 1).

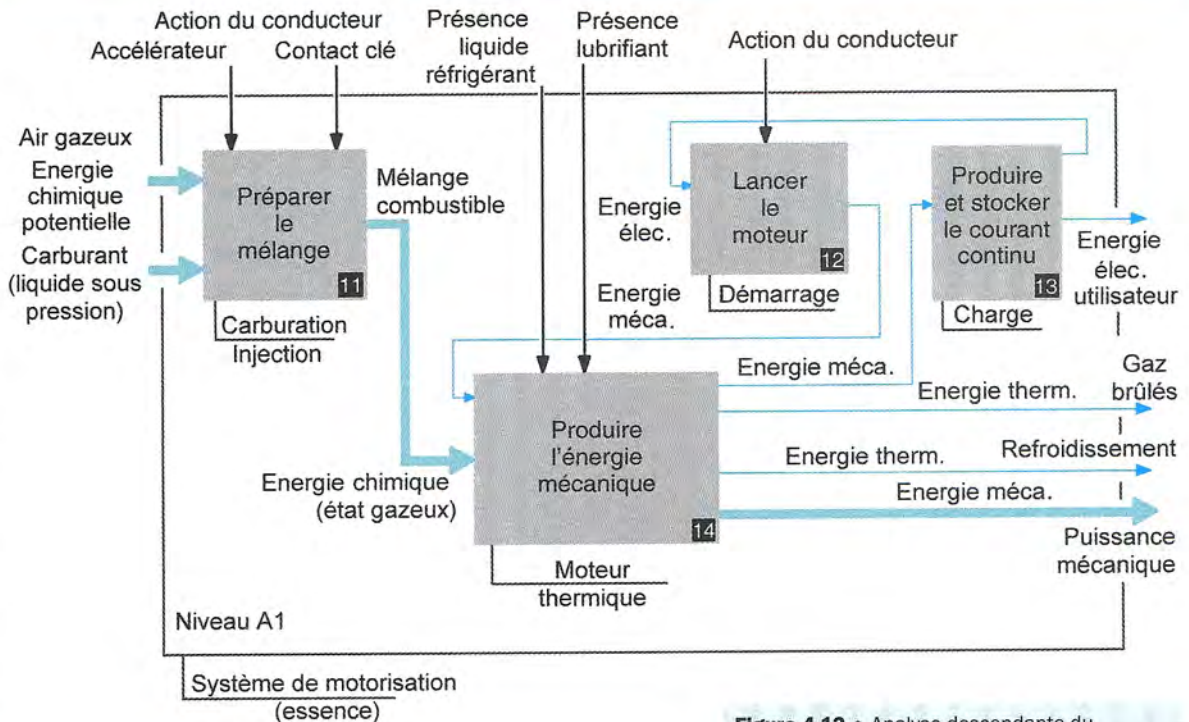


Figure 4.12 • Analyse descendante du système de motorisation.

■ Quels sont les différents types de moteurs équipant les véhicules de tourisme ?

Les véhicules de tourisme peuvent être équipés :

- d'un moteur thermique essence ou Diesel ;
- d'un moteur électrique ;
- des deux systèmes à la fois (ces véhicules appelés « **hybrides** » comportent un moteur thermique pour la propulsion et la production d'électricité et un ou plusieurs moteurs électriques pour la propulsion).

Remarque

Dans cet ouvrage, nous étudierons particulièrement :

- Les moteurs à essence :
 - à carburateur (en voie de disparition) ;
 - à injection électronique.
 - Les moteurs Diesel :
 - à pompe mécanique (en voie de disparition) ;
 - à injection électronique (*common rail*).
 - Une étude rapide des moteurs à deux temps équipant les cyclomoteurs et certaines motos.
-

Mémo

• Types de moteurs

- moteurs électriques,
- moteurs thermiques.

• Familles de moteurs thermiques

- à explosion : carburant essence, allumage commandé.
- à combustion : carburant gazole, auto-inflammation sous haute pression.

• Cycles de fonctionnement

Les phases du cycle Beau de Rochas sont :

- l'admission,
- la compression,
- l'explosion détente,
- l'échappement.

• Différents types de cycles

Deux temps, quatre temps, rotatif.

• Moteur à quatre temps à injection d'essence

Le carburant est injecté au temps d'admission derrière la soupape d'admission. La combustion est déclenchée par un système d'allumage.

• Moteur à quatre temps à injection Diesel

Le carburant est injecté en fin de compression dans une préchambre ou directement dans le cylindre. La combustion s'effectue par auto-inflammation du carburant dans l'air surchauffé.

Ces moteurs peuvent être « atmosphériques » ou « turbocompressés ».

2

Le système
de motorisation

Testez vos connaissances

1. Dans un véhicule hybride, quel est le type de moteur installé ?

- ☐ a. moteur thermique
☐ b. moteur électrique
☐ c. les deux types de moteurs

2. Dans un moteur à deux temps, le carter inférieur est :

- ☐ a. mis à l'air libre
☐ b. étanche
☐ c. inexistant

3. Dans le cycle Beau de Rochas, le 2^e temps est le temps :

- ☐ a. d'échappement
☐ b. d'admission
☐ c. de compression

Pour aller plus loin

1. Recherchez les différences de conception entre un moteur à injection d'essence et un moteur à injection Diesel.
2. Précisez les différences entre les bougies d'allumage et les bougies de préchauffage.
3. Recherchez les différences essentielles entre un moteur Diesel à injection indirecte et un moteur à injection directe à rampe commune.

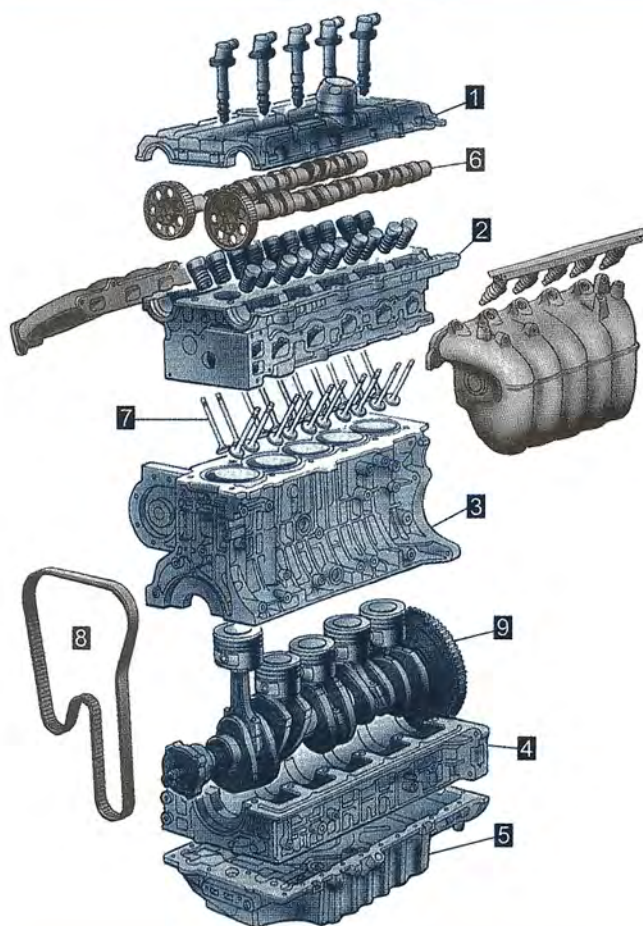
5

Les éléments constitutifs du moteur

■ Quelles sont les différentes parties d'un moteur ?

On distingue dans un moteur (figure 5.1) :

- les parties **fixes** ;
- les parties **mobiles**.



Parties fixes :

- ① Couvre-culasse.
- ② Culasse.
- ③ Bloc-moteur ou bloc-cylindres.
- ④ Carter chapeaux de paliers.
- ⑤ Carter inférieur.

Parties mobiles :

Distribution :

- ⑥ Arbres à cames.
- ⑦ Soupapes.
- ⑧ Courroie ou chaîne de distribution.

Équipage mobile :

- ⑨ Volant moteur, bielles et pistons.

Figure 5.1 • Les parties d'un moteur.

■ Que comprennent les parties fixes ?

Les parties fixes comprennent principalement :

- le **bloc-moteur** ou **bloc-cylindres** ③, dans lequel sont pratiqués un ou plusieurs évidements cylindriques ;
- la **culasse** ② qui sert de couvercle hermétique à la partie supérieure des cylindres.

■ Que comprennent les parties mobiles ?

Les parties mobiles comprennent deux parties principales :

- l'**équipement mobile** ⑨ qui inclut : le **vilebrequin** et son **volant moteur**, les **bielles**, les **pistons** munis de leurs **segments** ;
- la **distribution** qui inclut : les **arbres à cames** ⑥, **souppes** ⑦ et **ressorts** de rappel, un système de **liaison** entre le ou les arbres à cames et le vilebrequin constitué d'une ou plusieurs **chaînes** ou **courroies crantées** ⑧.

Les éléments fixes

■ Quelles sont les fonctions du bloc-moteur ?

Le **bloc-moteur** ou **bloc-cylindres** (figure 5.2) :

- **supporte** le **vilebrequin** ;
- permet le **guidage** des **pistons** ;
- assure avec la culasse l'**étanchéité** des **cylindres** ;
- permet le passage des canalisations de graissage et de refroidissement.

■ Quelles sont les conditions à remplir par le bloc-moteur ?

Le bloc-moteur doit :

- être **indéformable** et répondre à des dispositions géométriques précises ;
- **résister** aux **pressions**, **torsions**, **frottements**, **variations de température** ;
- être d'une **bonne conductibilité thermique** (évacuation rapide des calories en excédent) ;
- posséder la masse la moins élevée possible.

■ Quelles sont les qualités géométriques du bloc-cylindres ?

Les **paliers** dans lesquels tourbillonne le vilebrequin doivent être **concentriques**. On nomme cette ligne invisible **ligne d'arbre**. La ligne d'arbre doit être **parallèle** au **plan de joint supérieur**.

L'axe de chaque **cylindre** doit être **perpendiculaire** au plan de joint et à la ligne d'arbre (figure 5.3).

Ces qualités s'appliquent aux moteurs monocylindre comme à ceux comportant plusieurs cylindres, les différences résidant essentiellement dans leur disposition.

À partir de deux cylindres, il est possible d'adopter les dispositions suivantes : en **ligne** (figure 5.4), en **V** (figure 5.5), à **plats opposés** (figure 5.6) (parfois en V, en W ou en étoile).



Figure 5.2 • Bloc-moteur en fonte, alésage direct des cylindres.

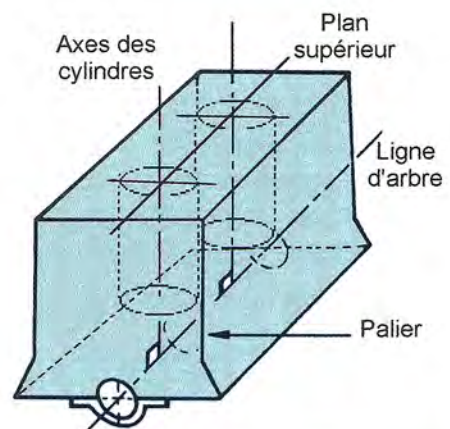


Figure 5.3 • Géométrie du bloc-cylindres.

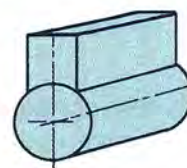


Figure 5.4 • Cylindres en ligne.

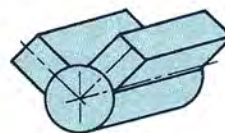


Figure 5.5 • Cylindres en V.



Figure 5.6 • Cylindres à plats opposés.

■ Quels sont les moyens de fabrication utilisés ?

Nous avons vu que le bloc doit résister aux efforts mécaniques mais également évacuer la chaleur excédentaire : des risques de dilatation, déformation et fusion des matériaux, et des défauts graves de fonctionnement en découlent.

Le matériau qui présente la double qualité de dureté et de bonne conductibilité thermique est la **fonte**. Ses qualités sont améliorées par divers procédés : nitruration, adjonction de silicium, manganèse, etc. De plus, elle est facilement moulable.

On utilise également des **alliages d'aluminium** (alpax), matériaux légers et bons conducteurs de la chaleur. Le moulage est effectué sous pression et les parois du bloc comportent des nervures de renforcement.

Lorsque le bloc est en alliage léger, des **cylindres en fonte** sont en général **rapportés**.

Les finitions comprennent : le perçage des conduits, l'alésage des paliers, le dressage des faces d'appui, le perçage et le taraudage des points de fixation. Les surfaces de contact avec d'autres pièces recevront des joints.

L'intérieur des cylindres est alésé, rectifié, puis rodé.

■ Quels sont les différents types de blocs-cylindres ?

- Bloc à **alésage direct** (figures 5.2 et 5.7) : certains blocs en fonte sont directement alésés, les cylindres et le bloc ne faisant qu'une seule pièce. En cas d'usure des cylindres, il est nécessaire de **réalésier** à une cote supérieure et d'adapter des pistons de plus fort diamètre.

- Bloc à **chemises amovibles** : ce système facilite la fabrication ; il permet l'utilisation de **matériaux différents** pour le bloc et pour les cylindres (cylindres en fonte, bloc en alliage léger). La réparation est facilitée (remontage de chemises d'origine).

- **Chemises sèches** (figure 5.8) : **fourreau de faible épaisseur** emmanché dans un bloc en fonte ou en alliage léger ; le remplacement est possible mais l'ajustement est serré ; il n'y a aucune communication avec l'eau de refroidissement.

- **Chemises humides** (figure 5.9) : la chemise sert en même temps de paroi pour les conduits de refroidissement ; leur remplacement est aisé, mais l'étanchéité doit être particulièrement soignée. Les chemises sont en fonte centrifugée, elles sont également alésées, rectifiées et rodées.

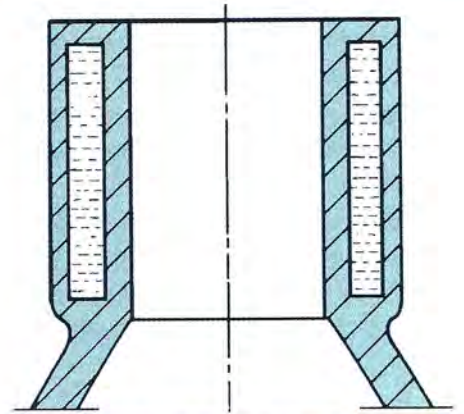


Figure 5.7 • Bloc-cylindres à alésage direct.

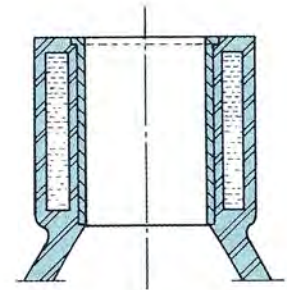


Figure 5.8 • Chemise sèche.
(Cas du refroidissement à eau.)

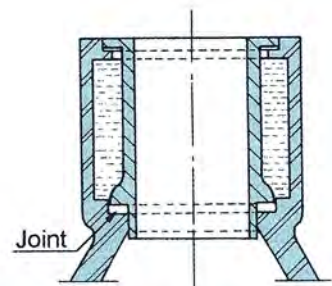


Figure 5.9 • Chemise humide.
(Cas du refroidissement à eau.)

■ Cas des moteurs à refroidissement par air.

Le **bloc** est **indépendant des cylindres**, ce qui facilite la fabrication et l'emploi de matériaux différents. Leur masse est inférieure à celle des blocs-cylindres à refroidissement par eau (figure 5.10).

Les cylindres peuvent être en fonte ou en alliage léger. Dans ce dernier cas, ils sont munis de chemises sèches rapportées (figure 5.11).

Les éléments mobiles – piston, bielle, vilebrequin – ne peuvent fonctionner sans leur liaison avec un **ensemble monobloc indéformable**.

La pression des gaz ne peut agir sur le piston que grâce à la présence d'une chambre étanche fermée par le **haut des cylindres et la culasse** (figure 5.12).

Chaque force engendrée par les éléments mobiles ne peut s'exercer que par l'action des **éléments fixes** qui opposent une force égale et de sens opposé.

L'ensemble **bloc-cylindres-culasse** est le **point d'appui** des éléments mobiles sans lequel il ne peut exister de couple moteur.

■ Quels sont les rôles de la culasse ?

La culasse assure la **fermeture des cylindres** dans leur partie supérieure, constituant ainsi la **chambre de combustion**.

Elle permet :

- l'arrivée et l'évacuation des gaz,
- la mise en position des éléments de la distribution et d'une partie de l'allumage,
- l'évacuation rapide des calories, le point le plus chaud du moteur étant précisément la chambre de combustion.

■ Quels sont les matériaux utilisés pour la culasse ?

On utilise la **fonte** ou l'**alliage d'aluminium moulé**. Les contraintes mécaniques étant moins importantes que pour le bloc-moteur, les constructeurs ont quasiment abandonné la fonte au profit des alliages d'aluminium (alpax), en raison de sa légèreté et de sa très bonne conductibilité thermique.

Les procédés de fabrication sont les mêmes que pour le bloc-moteur.

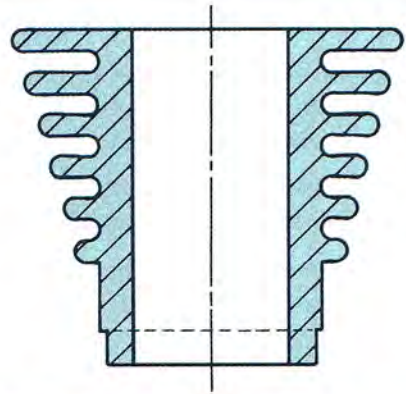


Figure 5.10 • Alésage direct.

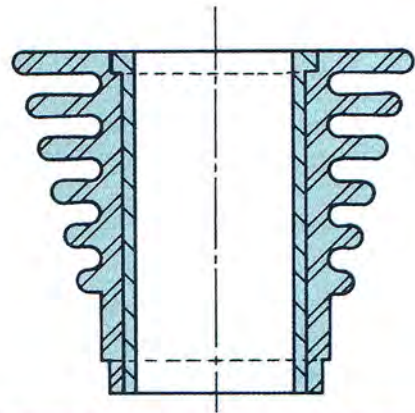


Figure 5.11 • Chemise rapportée.
(Cas du refroidissement par air.)

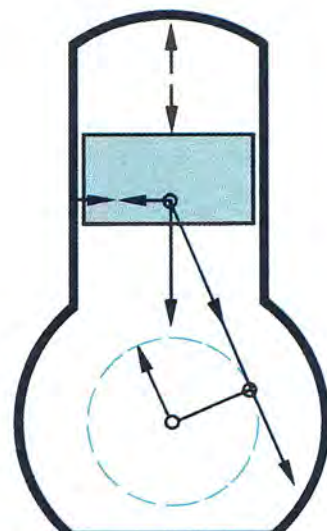


Figure 5.12 • Actions mutuelles des éléments mobiles sur les éléments fixes.

■ Quels sont les points particuliers de constitution de la culasse ?

Les chambres de combustion pratiquées dans la culasse ont une forme particulièrement étudiée (hémisphérique, bisphérique) (figure 5.13).

Elles peuvent également être totalement, ou partiellement, logées dans la tête du piston.

Leur forme doit faciliter le brassage des gaz frais et l'évacuation des gaz brûlés.

Les conduits d'admission et d'échappement dans la culasse portent le nom de **chapelles**.

■ Comment le refroidissement est-il assuré ?

Un **réseau de conduits** de refroidissement est pratiqué dans toute la culasse, en particulier à proximité de la chambre de combustion, des soupapes et des bougies.

Ces conduits **communiquent** avec le **bloc-cylindres** par des trous pratiqués dans le plan de joint (figure 5.14).

■ Assemblage entre la culasse et le bloc-cylindres.

Le plan de joint entre la culasse et le bloc-cylindres permet le passage de l'**eau**, des **gaz comprimés** et de l'**huile sous pression** vers la partie inférieure du moteur (figure 5.14).

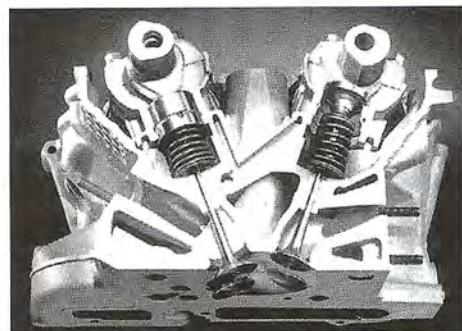
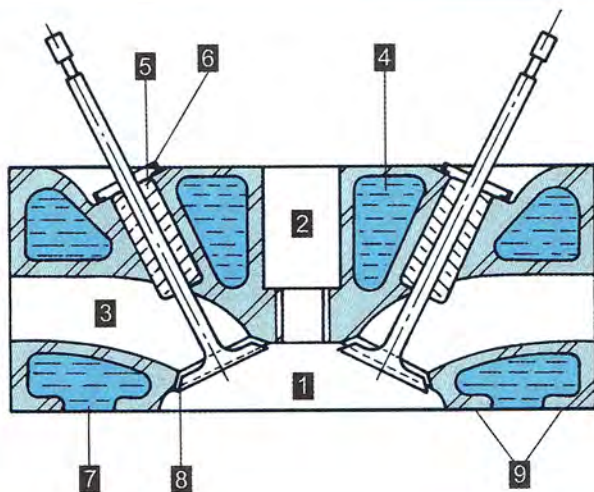


Figure 5.13 • Coupe d'une culasse en alliage léger.



- ① Chambre de combustion.
- ② Cheminée de bougie.
- ③ Chapelle.
- ④ Canalisations de refroidissement.
- ⑤ Guide soupape.
- ⑥ Rondelle d'appui du ressort.
- ⑦ Communication avec le bloc.
- ⑧ Siège de soupape.
- ⑨ Plan de joint de culasse.

Figure 5.14 • Composantes d'une culasse.

Les éléments mobiles

■ Quel est le rôle du piston ?

Le piston est la paroi mobile du cylindre. Il permet :

- la **compression** des gaz frais grâce à la **force** qui lui est communiquée par la bielle :

$$p = \frac{F}{S}$$

- la **transformation** au temps détente de la **pression** des gaz enflammés en une force :

$$F = pS$$

- le **déplacement** de la force permet au moteur d'accomplir un travail (figure 5.15) :

$$W = F\ell$$

■ Quelles sont les contraintes subies par le piston ?

Les **variations de températures** qu'il subit sont très importantes. Son refroidissement est difficile à réaliser.

Les efforts mécaniques sont nombreux (figure 5.16) :

- **action des gaz** sous pression (\vec{F}_1),
- **action de la bielle** (force résistante) (\vec{F}_2),
- **action des parois du cylindre** (\vec{F}_3),
- **forces d'inertie** alternatives dues aux accélérations et décélérations du piston.

■ Quelle est la constitution du piston ?

Il est en général **moulé** dans un matériau léger et d'une bonne conductibilité thermique comme les **alliages d'aluminium**.

La tête et le support d'axe, devant transmettre l'énergie mécanique, sont particulièrement renforcés (figure 5.17).

Il se compose :

- d'une **tête** ou **culot** dont le diamètre doit être inférieur à l'alésage du cylindre quelles que soient les dilatations,
- de **segments** situés dans des **gorges** pratiquées sur le pourtour du piston et qui assurent l'étanchéité,
- d'une **jupe** qui doit assurer le guidage à froid comme à chaud avec un minimum de frottement.

■ Comment contrôler les dilatations du piston ?

L'**alliage léger** qui constitue le piston possède un **coefficient de dilatation** très supérieur à celui du cylindre.

Le **diamètre de tête** est calculé pour rester **inférieur à l'alésage du cylindre** à toutes les températures. Il n'en est pas de même pour la jupe qui doit posséder un jeu diamétral faible à froid et un frottement peu important à chaud malgré les dilatations.

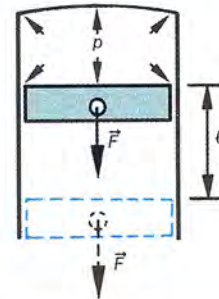


Figure 5.15 • Force : $F = pS$.
Travail : $W = F\ell$.

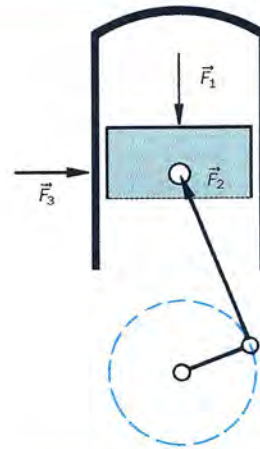


Figure 5.16 • Actions reçues par le piston.

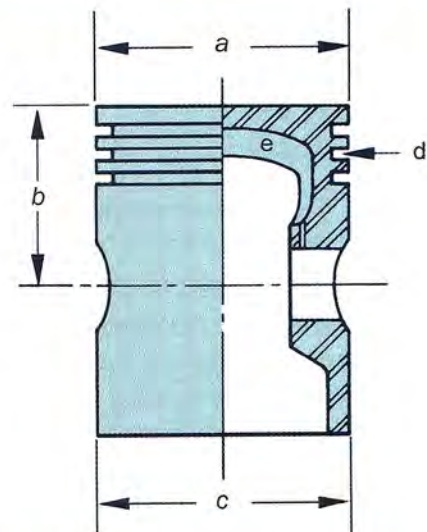


Figure 5.17 • Piston.

- a** : diamètre de tête.
- b** : distance entre tête et axe de piston.
- c** : diamètre de jupe.
- d** : Gorge.
- e** : Renfort.

■ Quels sont les procédés utilisés ?

- Une **fente de dilatation** est pratiquée sur la hauteur de la jupe. Elle doit être oblique afin d'éviter la formation d'un bourrelet d'usure sur le cylindre.
- La **jupe** est **ovalisée** (figure 5.18) ; la dilatation pourra agir sur le petit diamètre et tendre à rendre la forme cylindrique à celle-ci.
- Des éléments à faible coefficient de dilatation sont incorporés dans la jupe (acier, métal « invar »).

■ Quelle est la constitution des segments ?

Les segments sont des anneaux brisés, de section carrée ou parallélépipédique, travaillant en extension. Ils doivent assurer des **pressions radiales uniformes** sur les parois du cylindre (figure 5.19).

La **fonte douce** qui les compose reçoit un **chromage** évitant une usure rapide par frottement. Leur position dans les gorges permet à la pression des gaz d'accroître leur étanchéité.

Les segments pour moteur à quatre temps sont en général au nombre de trois :

- Le **segment de feu** ① ou premier segment d'étanchéité,
- Le **segment intermédiaire** ② ou deuxième segment d'étanchéité.

Ces deux premiers segments assurent l'étanchéité inférieure de la chambre de combustion.

- Enfin, le **segment racleur** ③ empêche le film d'huile de remonter vers la chambre.

On peut donc prévoir que l'usure des segments ou du cylindre provoquera une perte de compression et une consommation d'huile.

■ L'axe de piston

La force à transmettre étant élevée, sa **surface de contact** avec le piston et la bielle doit être importante.

Il est fabriqué en **acier cémenté trempé**, puis rectifié.

Sa mise en position est assurée par divers montages :

- libre dans le piston et serré sur la bielle,
- libre dans la bielle et serré sur le piston,
- libre dans la bielle et le piston : dans ce cas, il est arrêté à ces extrémités.

■ Quel est le rôle de la bielle ?

La bielle est l'**élément intermédiaire** qui permet la **transmission** des forces entre deux éléments animés de **mouvements différents** :

- le mouvement **rectiligne alternatif** du piston,
- le mouvement **circulaire continu** du vilebrequin.

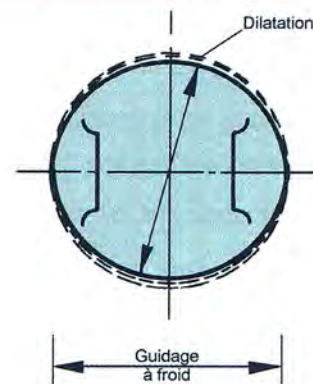


Figure 5.18 • Jupe ovalisée.

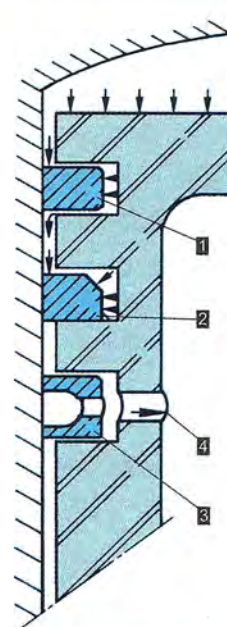


Figure 5.19 • Les segments.

- Action de la pression.
- ① Segment de feu.
 - ② Segment d'étanchéité.
 - ③ Segment racleur.
 - ④ Retour d'huile.



Figure 5.20 • Pistons et bielles (document Citroën).

■ Quelles sont les contraintes sur la bielle ?

Par la combinaison des mouvements rapides du piston et du vilebrequin, cet élément est soumis à de multiples contraintes : **compression, extension, flexion**.

■ Comment la bielle est-elle conçue ?

La bielle est en général **matricée** dans un **acier mi-dur**. Elle est parfois réalisée en alliage léger.

La **section en « I »** permet de diminuer la masse en conservant une bonne **résistance à la flexion** (flambage).

La tête et le pied ont une surface d'appui suffisamment large pour transmettre sans risque de détérioration des effets importants (figure 5.21).

■ Comment les rotations s'effectuent-elles ?

L'angle de rotation du pied de bielle étant très limité, le contact **métal contre métal** sera le plus souvent amélioré par l'interposition d'un **film d'huile** provenant du circuit de graissage.

La tête de bielle qui, au contraire, doit permettre la rotation du maneton sur 360° recevra un **dispositif spécial antifriction** ainsi qu'une **lubrification sous pression**.

■ Qu'appelle-t-on couler une bielle ?

Le **frottement entre la tête de bielle et le vilebrequin est diminué par l'interposition de coussinets** facilement remplaçables (figure 5.22).

Les coussinets sont de larges bagues d'acier, en général en deux parties, recouvertes sur leur face intérieure d'une fine couche de métal antifriction appelé **régule**.

Le régule est composé de plomb, d'étain, d'antimoine et de cuivre. Le **point de fusion** de cet alliage est assez bas (400 °C). Lorsque le frottement entre la bielle et le vilebrequin devient anormalement grand, l'**énergie calorifique** dégagée provoque la **fusion du régule**. Le **jeu** devient alors excessif et provoque un **cognement** sourd très caractéristique.

Couler une bielle est donc l'incident qui provoque la **fusion du régule** par un frottement anormal.

Remarque

La distribution et le vilebrequin font l'objet de sections séparées (→ Leçons 8, 9 et 10).

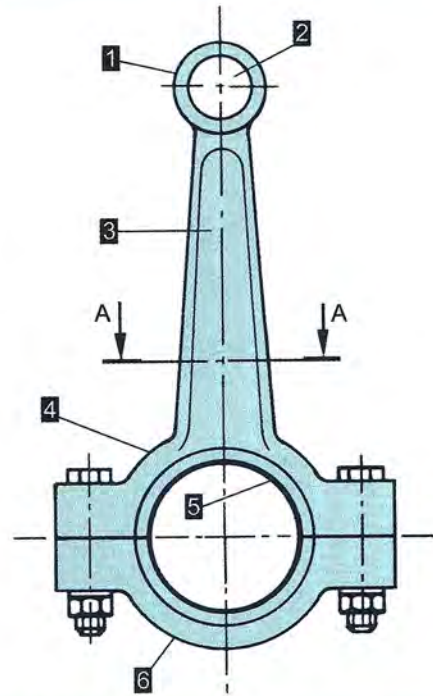


Figure 5.21 • La bielle.

- ① Pied de bielle.
- ② Axe de pied de bielle.
- ③ Corps.
- ④ Tête de bielle.
- ⑤ Coussinet.
- ⑥ Chapeau.

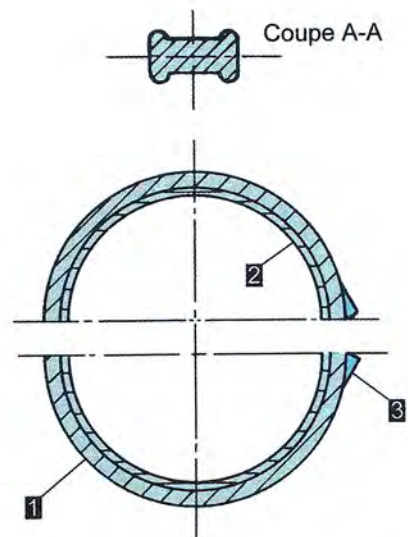


Figure 5.22 • Interposition de coussinets.

- ① Demi-coussinet.
- ② Régule.
- ③ Ergot de maintien.

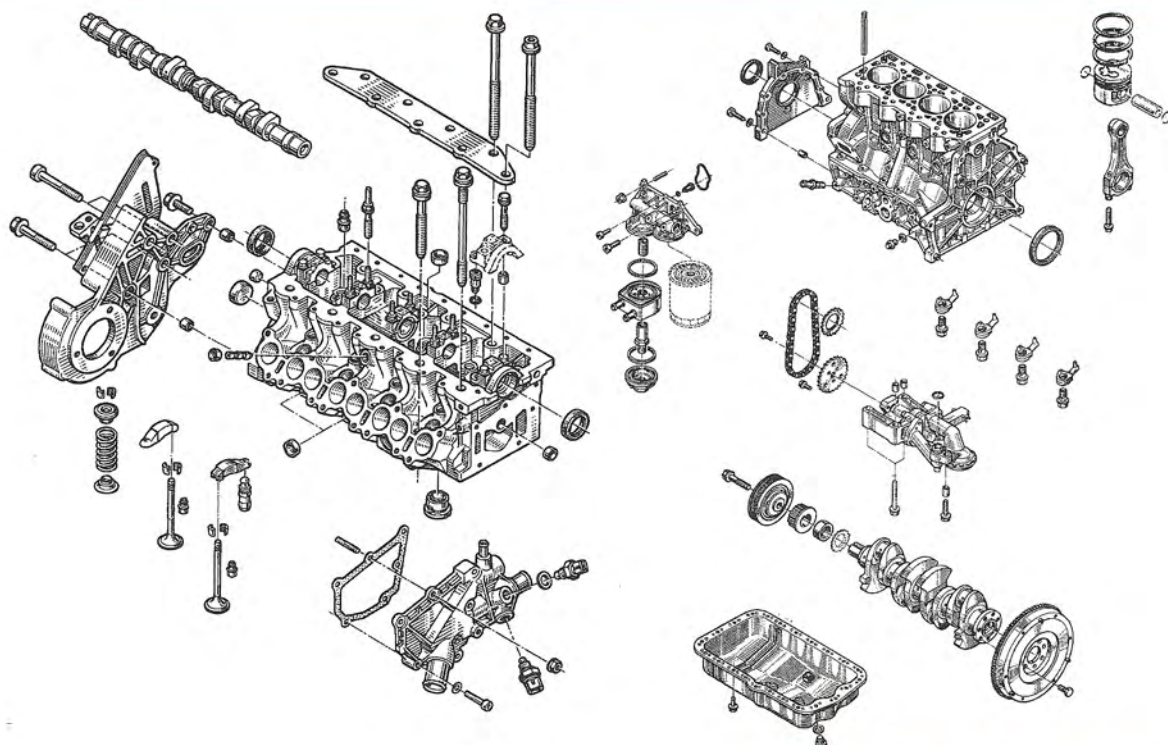


Figure 5.23 • Ensemble des pièces constituant un moteur (document Renault).

Mémo

• Les éléments fixes du moteur

Ils sont constitués par : – le bloc-moteur ou bloc-cylindres,
– la culasse.

– Les caractéristiques sont les suivantes :

1. l'ensemble bloc-cylindres-culasse doit être indéformable,
2. le bloc sert de support au vilebrequin,
3. le cylindre guide le piston,
4. la culasse ferme le haut des cylindres par l'intermédiaire d'un joint.

– Il existe différents types de blocs-cylindres :

1. blocs à alésages directs ;
2. blocs à chemises amovibles : sèches ou humides.

– Réalisation :

Les blocs moteurs et culasses sont réalisés par moulages de fonte ou d'alliage d'aluminium (alpac), matériaux moulables et bons conducteurs de la chaleur.

• Les éléments mobiles du moteur

Ils sont constitués par : – l'équipage mobile (vilebrequin, bielles, pistons, segments),
– la distribution (arbres à cames, soupapes, ressorts).

– Les caractéristiques du piston :

Il est la paroi mobile du cylindre et réalise les variations de volume nécessaires à la réalisation du cycle.

Il permet de transformer la pression en force motrice ($F = pS$).

Son déplacement accomplit un travail ($W = F\ell$).

Mémo (suite)

- La réalisation du piston :
Moulé, en alliage léger (peu d'inertie).
La tête reçoit la pression, la force produite est transmise à l'axe, les gorges reçoivent les segments, la jupe assure le guidage.
- Les caractéristiques des segments :
 1. coup de feu ou première étanchéité,
 2. intermédiaire ou deuxième étanchéité,
 3. racleur d'huile.
- Les caractéristiques de la bielle :
La bielle effectue la liaison entre le mouvement rectiligne alternatif du piston et le mouvement circulaire continu du vilebrequin.
- La réalisation de la bielle :
En acier matricé : sa section est en I afin de limiter les risques de flambage.
La tête est munie de coussinets antifriction dont la couche superficielle fond en cas d'échauffement anormal par défaut de graissage.

2

Le système
de motorisation

Testez vos connaissances

1. Comment nomme-t-on l'ensemble qui permet l'admission et l'évacuation des gaz ?
☐ a. la distribution ☐ b. l'équipage mobile
☐ c. la segmentation
2. Quelle est la forme d'énergie qui permet de transformer le carburant en énergie mécanique ?
☐ a. l'énergie thermique ☐ b. l'énergie cinétique
☐ c. l'énergie électrique
3. La ligne d'arbre est :
☐ a. l'axe des cylindres ☐ b. l'axe des paliers
☐ c. l'axe des bielles

Pour aller plus loin

1. Recherchez les caractéristiques principales d'un bloc moteur à alésage direct et celles d'un carter-cylindre à chemises amovibles.
Indiquez à chaque fois le type de moteur et sur quel véhicule il peut être monté.
2. Relevez les caractéristiques des pistons, segments et bielles sur un moteur de votre choix.

Maintenance

Sur le plan pratique, il est nécessaire d'étudier les 4 fiches de niveau 2 suivantes du manuel de *Maintenance automobile* : le savoir-faire :

- Fiche n° 31 - Déposer, contrôler et serrer une culasse.
- Fiche n° 33 - Contrôler l'usure des cylindres.
- Fiche n° 34 - Remplacer les chemises et les pistons.
- Fiche n° 35 - Contrôler le dépassement des chemises.

6

Les caractéristiques des moteurs

Les **moteurs thermiques à combustion interne** se caractérisent principalement par :

- l'**alésage** ;
- la **course** ;
- le **nombre** et la **disposition** des **cylindres** ;
- la **cylindrée** ;
- le **rapport volumétrique** ;
- le **couple moteur** ;
- la **puissance maximale** ;
- la **puissance fiscale**.

■ Qu'entend-on par alésage et course ?

L'**alésage** est le **diamètre intérieur** du cylindre.

La **course** est la distance comprise entre le **point mort haut** (PMH) et le **point mort bas** (PMB) (figure 6.1).

■ Qu'est-ce que la cylindrée ?

C'est le volume total des cylindres d'un moteur exprimé en centimètres cubes ou en litres.

■ Comment calculer la cylindrée d'un moteur ?

Cylindrée unitaire (d'un seul cylindre), celle-ci est égale à :

$$\pi \left(\frac{A}{2} \right)^2 C \quad \text{ou} \quad \frac{\pi A^2 C}{4}$$

avec A = alésage en centimètres,
 C = course en centimètres.

Cylindrée totale qui est égale à :

$$\pi \left(\frac{A}{2} \right)^2 C n \quad \text{ou} \quad \frac{\pi A^2 C n}{4}$$

avec n = nombre de cylindres.

Remarque

On exprime également la cylindrée en **litres**. 1 litre valant 1 000 cm³, on peut dire, par exemple, qu'un moteur de 2 000 cm³ est un moteur de 2 litres.

On différencie également les moteurs selon leur rapport alésage/course :

- alésage < course : **moteur à course longue** ;
- alésage = course : **moteur carré** ;
- alésage > course : **moteur super-carré**.

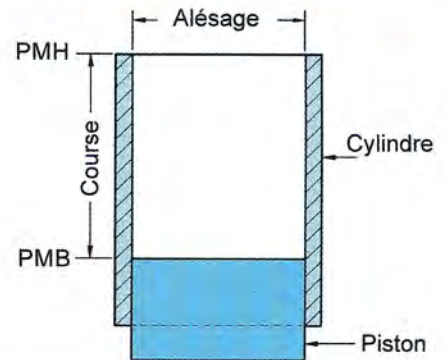


Figure 6.1 • Alésage et course.

■ Qu'appelle-t-on rapport volumétrique ?

C'est le rapport existant entre le volume total du cylindre lorsque le piston est au PMB ($V + v$) (figure 6.2) et le volume restant lorsque le piston est au PMH (v) (figure 6.3).

Ce volume (v) correspond à la **chambre de combustion**.

Le rapport volumétrique se représente par la lettre ρ :

$$\rho = \frac{V + v}{v}$$

ρ : rapport volumétrique,
 V : cylindrée unitaire,
 v : volume de la chambre de combustion.

et le résultat se présente sous la forme d'une fraction.

Exemple

$$\frac{8,5}{1} ; \frac{9}{1} \text{ ou } 9 \text{ pour } 1.$$

Remarque

Si V croît, v restant constant : ρ croît.

Si v croît, V restant constant : ρ décroît.

Si ρ croît, la pression de fin de compression croît.

■ Qu'est-ce que le couple moteur ?

La pression qui agit sur la tête du piston lui communique une force d'intensité $F = ps$.

Déterminons l'intensité de la composante efficace de \vec{F} (F_1) sur la bielle : $F_1 = \frac{F}{\cos \alpha}$.

Le moment du couple moteur sera :

$$\mathcal{M}_{(O)}(\vec{F}_1) = F_1 \cdot r$$

$$\left(\begin{array}{c} \text{Moment du couple} \\ \text{de } F_1 \text{ par rapport} \\ \text{à } O \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Force normale} \\ \text{à la bielle} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{rayon du bras} \\ \text{de manivelle} \end{array} \right)$$

\downarrow \downarrow \downarrow
 $N \cdot m$ N m

Le moment du **couple moteur** (ou couple moteur) est donc le **produit de la force** sur la bielle **par la longueur du bras** de maneton de vilebrequin (figure 6.4).

Remarque

Le couple est encore parfois exprimé en mètres par kilogramme-force qui est une ancienne unité ($1 \text{ daN} \approx 1 \text{ kgf}$).

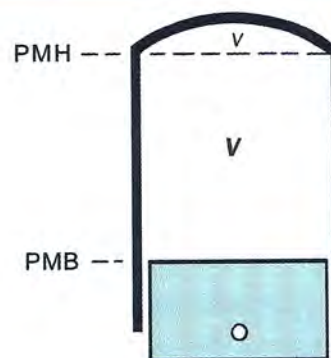


Figure 6.2 • Volume du cylindre lorsque le piston est au PMB : ($V + v$).

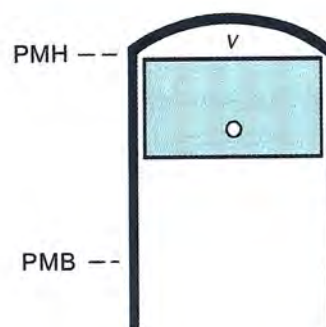


Figure 6.3 • Volume du cylindre lorsque le piston est au PMH : (v).

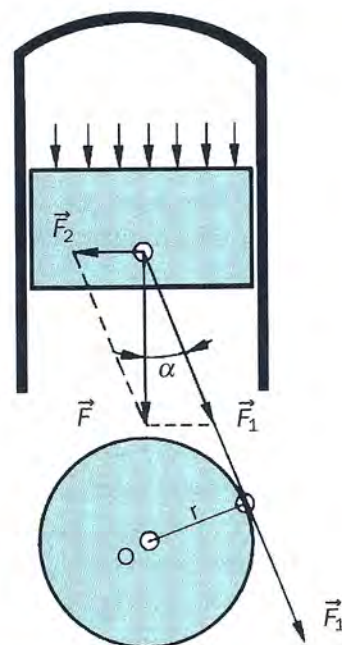


Figure 6.4 • Décomposition des forces agissant sur le maneton du vilebrequin.

■ Que sera le travail du couple moteur ?

Le travail (W) est égal au produit de la force sur la bielle (F_1) par le déplacement du point d'application de la force (d ou ℓ) :

$$\begin{array}{c} W = F_1 \cdot \ell \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\ \text{J} \quad \text{N} \quad \text{m} \end{array}$$

Déplacement de la force pour un tour : $\ell = 2 \pi r$.

Travail de la force pour un tour : $W = F_1 \cdot 2 \pi r$.

Le produit $F_1 r$ déterminant le couple moteur, on a :

$$\begin{aligned} F_1 \cdot r &= \mathcal{M}_{(O)}(\vec{F}_1) = \mathcal{C} \\ \text{et } W &= F_1 \cdot 2 \pi r = 2 \pi \mathcal{C} \end{aligned}$$

Pour un nombre de tours donnés (n), le travail sera

$$W = 2 \pi n \mathcal{C}$$

On peut observer que le couple le plus élevé se situe lorsque la bielle et le bras du vilebrequin forment un **angle de 90°** (→ Revoir la figure 6.4).

Le couple moteur est donc le résultat du **travail moteur** (W) transmis par l'ensemble bielle-vilebrequin, mesuré sur l'**arbre moteur**.

■ Comment peut-on mesurer le couple d'un moteur ?

On utilise des appareils qui, reliés directement à l'**arbre moteur**, créent un **couple résistant** tendant à le freiner. Ces appareils portent le nom de **freins**.

■ Quel est le principe utilisé par les freins ?

Ces appareils fonctionnent par frottement, l'intensité du frottement étant variable :

- frottement mécanique (frein de Prony),
- frottement électromagnétique (principe du ralentisseur électrique),
- frottement hydraulique (frein Froude).

■ Principe.

Le frottement communique le couple moteur (partiellement ou totalement) au carter du frein qui pivote sur lui-même, déplaçant avec lui un index mobile.

Le couple est fonction des charges d'équilibrage nécessaires pour maintenir l'index face à l'index fixe.

Un tachymètre mesure la vitesse angulaire.

L'énergie mécanique inutilisée est transformée en chaleur.

Le frein doit donc posséder un système de refroidissement (figure 6.5).

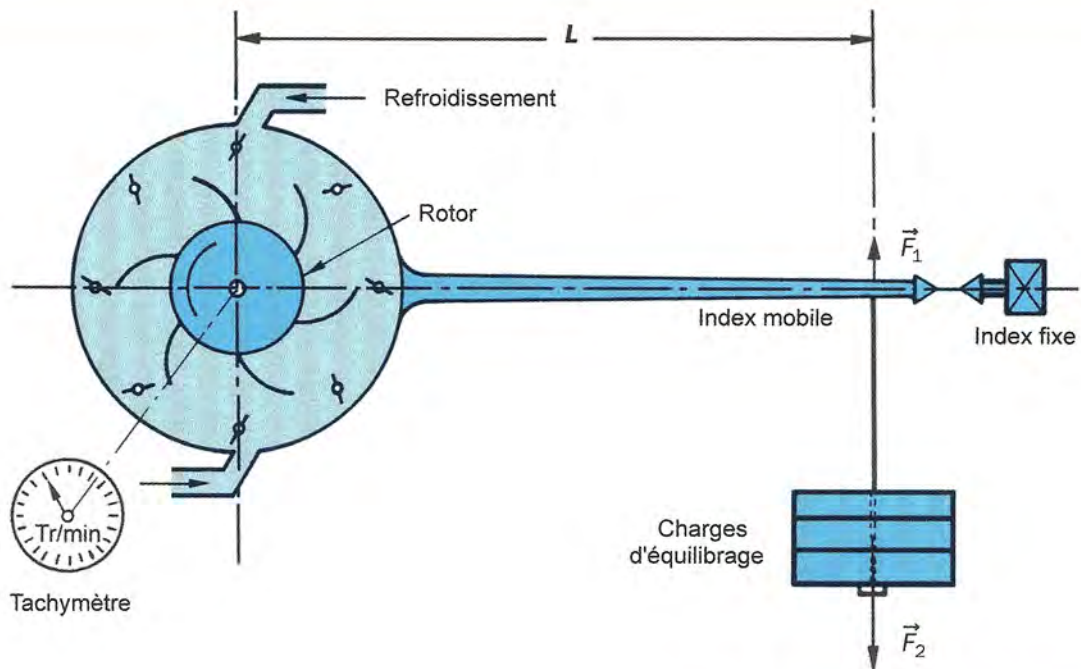


Figure 6.5 • Principe du frein hydraulique.

■ Comment calcule-t-on la puissance effective d'un moteur ?

La puissance est égale au quotient du travail par le temps :

$$\frac{\text{travail}}{\text{temps}} = \frac{W \text{ (en joules)}}{t \text{ (en secondes)}} = P \text{ (en watts)}$$

Soit pour n tours par minute :

$$P = \frac{W}{t} = \mathcal{C} \cdot \frac{2\pi n}{60} \quad \text{et} \quad \frac{2\pi n}{60} = \omega$$

(ω est la vitesse angulaire en radians par seconde)

$$P = \mathcal{C} \cdot \omega$$

watts = N · m · rad/s

Exemple

Couple moteur = 20 daN · m = 200 N · m ;
vitesse de rotation = 3 000 tr/min :

$$P = \frac{200 \times 2 \times 3,14 \times 3\,000}{60} = 62\,800 \text{ W, soit } 62,8 \text{ kW}$$

Remarque

On peut encore trouver l'ancienne unité de puissance des moteurs qui était le **cheval-vapeur (ch)** : **1 ch = 736 W**.

Dans l'exemple ci-dessus, 62,8 kW donneraient 62,8/0,736, soit environ 84 ch.

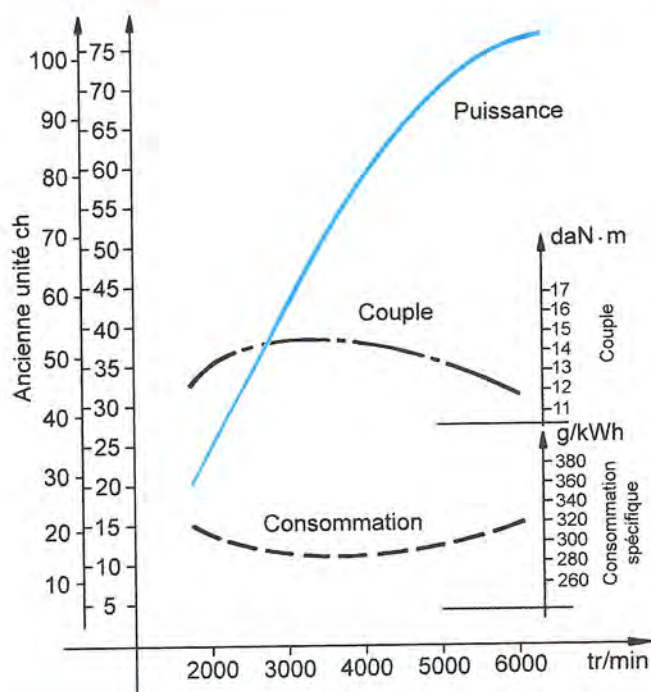


Figure 6.6 • Courbe de puissance, couple et consommation spécifique d'un moteur.

Les normes ISO (internationale) et Afnor (française) imposent le **watt (W)** comme **unité de puissance universelle**. Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la puissance effective d'un moteur, elles portent le nom des organismes qui les préconisent ;

- **SAE** (*Society of Automobile Engineers*). Système américain qui consiste à relever la puissance du moteur **dépourvu de ses accessoires** (pompe à eau, alternateur, ventilateur, etc.), réglages de l'avance à l'allumage et du carburateur réajustés pour chaque régime. Le résultat en est un chiffre assez élevé, les conditions de contrôle en font une puissance idéale assez théorique.

- **DIN** (*Deutsche Industrie Normen*) dite norme européenne. Dans ces essais, le moteur doit entraîner **tous ses accessoires**, les réglages ne pouvant pas être modifiés en cours d'essai (réglages de série). Il s'agit donc d'une puissance effective plus proche de la réalité.

- **CUNA** (*Commissione Tecnica di Unificazione nell'Automobile*). Système italien, compromis entre les normes DIN et SAE : **pas d'accessoires** comme pour les essais SAE, mais des **réglages de série** comme pour le système DIN.

■ Qu'est-ce que la puissance fiscale ?

Cette puissance, exprimée en **chevaux-vapeur fiscaux (CV)** a été instaurée par les services fiscaux français afin de pouvoir calculer certains impôts sur les automobiles. On l'appelle également **puissance administrative**.

Son calcul est bien effectué à partir des **caractéristiques du moteur**, mais les **coefficients** qui sont appliqués donnent un résultat très éloigné de la puissance effective.

Exemple

Moteur 1500 cm³ ; **8 CV fiscaux** ; **50 ch effectifs** ; 36,8 kW ISO.

■ Couple, puissance et consommation spécifiques.

- **Couple spécifique** : couple moteur pour un litre de cylindrée (**daN · m/L**).
- **Puissance spécifique** : puissance effective (DIN ou SAE) pour un litre de cylindrée (**kW/L**).
- **Consommation spécifique** : masse du combustible en grammes, en fonction de l'énergie fournie (**g/kWh**).

Mémo

● Caractéristiques générales des moteurs

Alésage : diamètre des cylindres.

Course : distance entre le point mort haut (PMH) et le point mort bas (PMB).

Cylindrée unitaire : volume d'un cylindre.

Cylindrée totale : volume de tous les cylindres du moteur.

● Calcul de la cylindrée (en cm³)

$$\text{Cylindrée unitaire : } \pi \left(\frac{A}{2} \right)^2 C \text{ ou } \frac{\pi A^2 C}{4}$$

$$\text{Cylindrée totale : } \pi \left(\frac{A}{2} \right)^2 Cn \text{ ou } \frac{\pi A^2 Cn}{4}$$

● Rapport volumétrique : $\rho = \frac{V + v}{v}$

● Couple moteur (en N · m ou daN · m) : $\mathcal{C} = F_1 \cdot r$

Travail mesuré à l'arbre moteur pour un tour : $W = 2\pi \mathcal{C}$ et pour n tours : $W = 2\pi n \mathcal{C}$.

● Appareils de mesure des couples et des puissances

Freins mécaniques, électromagnétiques, hydrauliques.

● Puissance effective (en watts)

$$P = \frac{2\pi n \mathcal{C}}{60}$$

$$P = \mathcal{C} \cdot \omega \text{ (en N · m · rad/s)}.$$

● Puissance fiscale (en CV)

Valeur permettant d'établir une classification des véhicules, par les services fiscaux français.

● Puissance spécifique (en kW/L)

Puissance effective pour un litre de cylindrée.

Testez vos connaissances

1. L'alésage du moteur est :
 - ☐ a. la hauteur du cylindre
 - ☐ b. le diamètre du cylindre
 - ☐ c. le volume du cylindre
2. Quelle est la cylindrée totale d'un moteur à 4 cylindres ayant les caractéristiques suivantes : alésage 70 mm, course 62 mm ?
 - ☐ a. 1 330 cm³
 - ☐ b. 954 cm³
 - ☐ c. 4 540 cm³
3. Comment nomme-t-on le type de moteur décrit à la question 2 ?
 - ☐ a. carré
 - ☐ b. super-carré
 - ☐ c. à course longue
4. Quel est le rapport volumétrique de ce moteur, sachant que le volume de la chambre de combustion est de 30 cm³ ?
 - ☐ a. 8,9/1
 - ☐ b. 9,4/1
 - ☐ c. 9,7/1
5. Si l'on rectifie le plan de joint de culasse :
 - ☐ a. le rapport volumétrique augmente
 - ☐ b. le volume du cylindre augmente
 - ☐ c. le rapport volumétrique diminue

Pour aller plus loin

1. Calculez la cylindrée d'un moteur quatre cylindres ayant les caractéristiques suivantes : alésage 77 mm ; course 65,6 mm.
2. Calculez le rapport volumétrique du même moteur sachant que $v = 38 \text{ cm}^3$.
3. Calculez la puissance effective d'un moteur tournant à 6 000 tr/min, dont le couple moteur est de 12 daN · m à ce régime. Donnez le résultat en kilowatts.
4. Recherchez les caractéristiques d'un moteur de votre choix.

Fonctionnement du moteur

7

Le cycle à quatre temps

- Rappelons ce qu'est un cycle de fonctionnement.

Il s'agit d'une série d'opérations qui se succèdent dans un ordre déterminé et à la fin desquelles le mécanisme se retrouve dans sa position de départ.

- Étudions le principe du cycle à quatre temps.

Numéro du temps	Nom de la phase	Déplacements		Positions des soupapes		Opérations
		Piston	Vilebrequin	Adm.	Échap.	
1 ^{er} temps	Admission	↓	1/2 tour	O*	F*	Le piston en descendant crée une baisse de pression favorisant l'aspiration des gaz.
2 ^e temps	Compression	↑	1/2 tour	F	F	Le piston comprime les gaz jusqu'à ce qu'ils n'occupent plus que la chambre de combustion (pression + chaleur).
3 ^e temps	Inflammation-détente Temps moteur	↓	1/2 tour	F	F	L'étincelle d'une bougie (ou l'injection de gazole comprimé) enflamme le mélange. La chaleur dégagée dilate le gaz qui pousse violemment le piston vers le bas.
4 ^e temps	Échappement	↑	1/2 tour	F	O	En remontant, le piston chasse les gaz brûlés. Le moteur est à nouveau prêt à effectuer le premier temps.

* O = ouvert ; F = fermé.

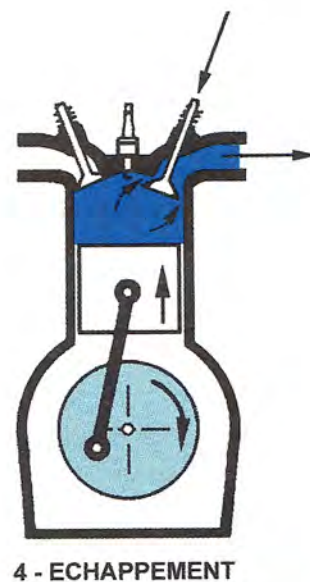
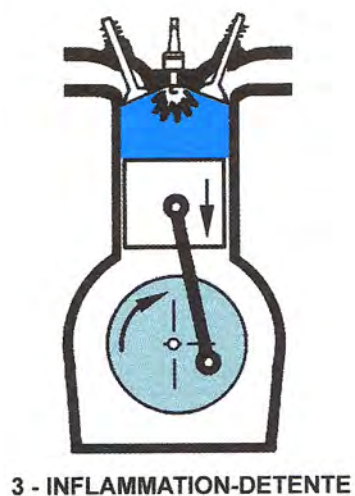
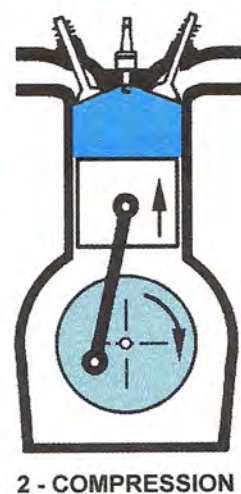
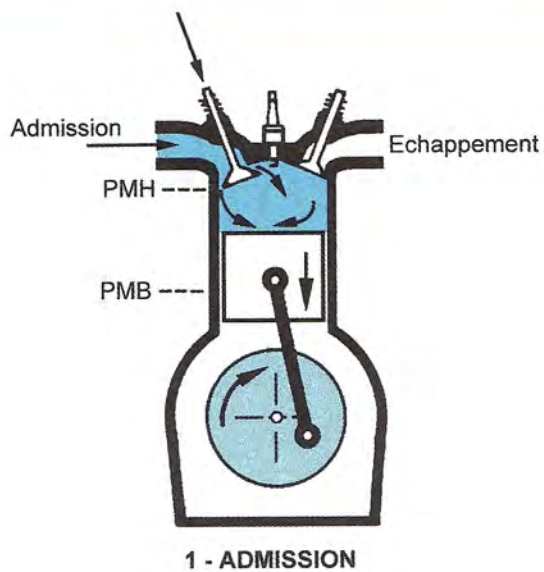
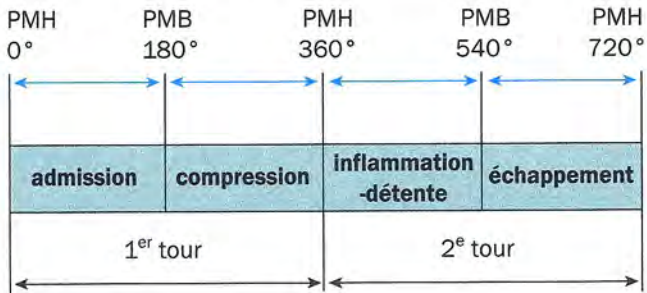


Figure 7.1 • Principe du cycle à quatre temps.

Récapitulons :



Remarque

Nous constatons qu'il n'y a qu'un **temps moteur** tous les **deux tours de vilebrequin**. Pour éviter les à-coups, on est obligé de placer un disque de fonte appelé volant moteur en bout de vilebrequin (figure 7.2).

Le rôle du volant moteur est de **régulariser** le mouvement de rotation de l'arbre moteur. Grâce à sa masse, il emmagasine une partie de l'énergie mécanique au temps moteur et la restitue aux temps résistants.

Lorsqu'il y a plusieurs cylindres, on répartit les explosions afin que les temps moteurs se succèdent régulièrement dans les divers cylindres (→ Leçon 10).

■ Quelle est la nature des phénomènes se produisant dans le moteur ?

Nous voyons que le fonctionnement du moteur est lié aux **évolutions** subies par une **masse de gaz** dans un cylindre à volume variable.

■ Comment peut-on mettre en évidence les variations de volume et de pression ?

La figure 7.3 décrit les coordonnées du diagramme des variations de volume et de pression.

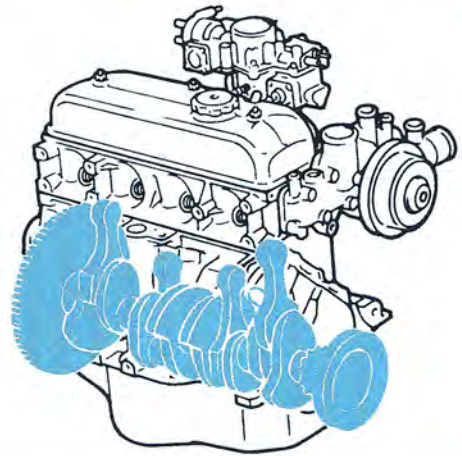


Figure 7.2 • Équipage mobile et son volant moteur (document Renault).

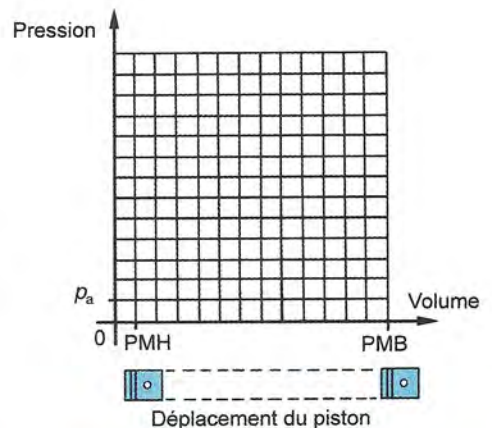

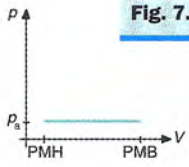



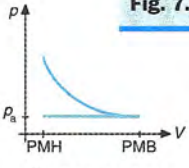


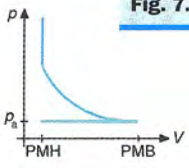



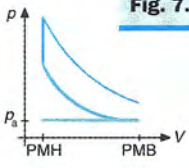


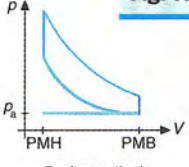

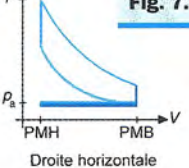


Figure 7.3 • Coordonnées d'un diagramme.

■ **Construisons le diagramme théorique d'un moteur à quatre temps.**

Temps	Course du piston	Position des soupapes	Volume	Pression	Température	Représentation graphique
Admission	Du PMH au PMB	Adm. : O Échap. : F		p_a	Extérieure	 <p>Fig. 7.4</p> <p>Droite parallèle à l'axe horizontal</p>
Compression	Du PMB au PMH	Adm. : F Échap. : F				 <p>Fig. 7.5</p> <p>Courbe ascendante</p>
Inflammation	PMH	Adm. : F Échap. : F	=			 <p>Fig. 7.6</p> <p>Droite parallèle à l'axe vertical</p>
Détente	Du PMH au PMB	Adm. : F Échap. : F				 <p>Fig. 7.7</p> <p>Courbe descendante</p>
Échappement	PMB	Adm. : F	=			 <p>Fig. 7.8</p> <p>Droite verticale</p>
Échappement	Du PMB au PMH	Adm. : F Échap. : C		p_a	Extérieure	 <p>Fig. 7.9</p> <p>Droite horizontale confondue avec l'admission</p>

Nous pouvons mettre en évidence les variations de volume et de pression par un **diagramme** (figure 7.10) dans lequel nous plaçons :

- en **abscisses** (horizontalement), les déplacements du piston ou **variations de volume** ;
- en **ordonnées** (verticalement), les **variations de pression**, la pression extérieure étant la pression atmosphérique symbolisée par p_a .

■ Pourquoi qualifie-t-on ce diagramme de théorique ?

Ce diagramme est dit **théorique**, car il est volontairement simplifié et ne tient pas compte des facteurs suivants :

- temps mis par les soupapes à s'ouvrir,
- délai d'inflammation du mélange,
- inertie des gaz,
- échanges de chaleur avec l'extérieur.

■ Peut-on évaluer le travail fourni par un moteur ?

Le travail développé par une force est égal au **produit** de la **force** par son **déplacement** :

$$W = Fd$$

W = travail, en joules,

F = force, en newtons,

d = déplacement, en mètres.

Si nous considérons que la pression des gaz est transformée en force par le piston ($F = ps$), nous pouvons évaluer le travail fourni par le moteur en observant le diagramme (figure 7.10).

Le **travail moteur** est représenté par l'aire ADEBA.

Les **temps résistants** sont représentés par l'aire ABCA.

Le **travail utile** du moteur est :

(travail moteur ADEBA) – (temps résistants ABCA).

Les variations qui se produisent sont liées aux lois de la **thermodynamique**.

■ Qu'est-ce que la thermodynamique ?

La thermodynamique est une branche de la physique qui étudie les relations entre l'énergie thermique et l'énergie mécanique.

■ Quelles sont les lois qui ont permis de construire ce diagramme ?

• **Loi de Mariotte.** À température constante, le produit du volume d'une masse de gaz par sa pression est constant (figure 7.11) :

$$pV = C^{te}, \text{ à température constante}$$

c'est une évolution **isotherme**.

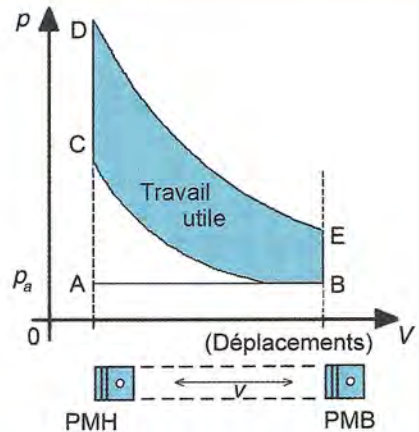


Figure 7.10 • Diagramme théorique d'un moteur.

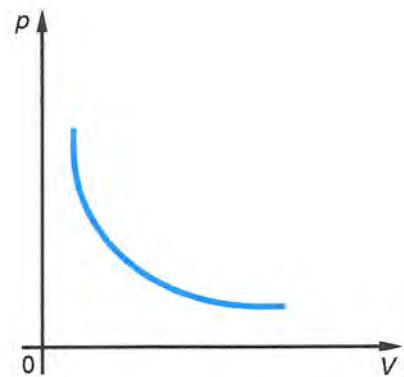


Figure 7.11 • Loi de Mariotte.

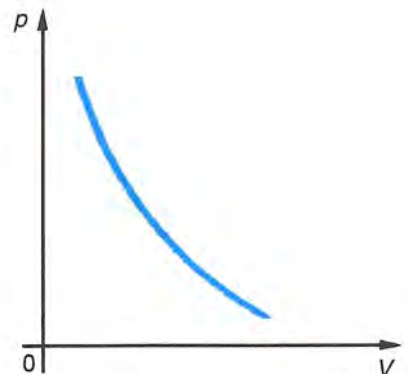


Figure 7.12 • Loi de Poisson.

• **Loi de Poisson.** La transformation du gaz, en tenant compte de la température, devient (figure 7.12) :

$$pV^\gamma = C^{te}$$

c'est une évolution **adiabatique**, c'est-à-dire sans échange de chaleur avec l'extérieur.

• **Loi de Charles.** Cette loi étudie la variation de pression d'un gaz échauffé, à volume constant : c'est une évolution **isochore** (figure 7.13).

• **Loi de Gay-Lussac.** Cette loi étudie les variations de volume d'un gaz chauffé. Cette évolution se fait à pression constante : elle est donc **isobare** (figure 7.14).

■ Le cycle théorique se vérifie-t-il dans la pratique ?

Non, puisque par simplification, nous avons volontairement omis certains phénomènes qui ont leur importance.

Exemples

La mise en mouvement d'un **fluide gazeux** s'effectue avec un certain **retard** par rapport au moment de sa commande ou de son arrêt. Ceci est dû à son **Inertie**.

Les variations de température sont modifiées par les échanges de chaleur avec l'extérieur.

La combustion complète du mélange demande un certain temps.

■ Que devient réellement le diagramme lorsque le moteur fonctionne (figure 7.15) ?

1. Admission (courbe AB). La pression p est supérieure à p_a du fait de l'accumulation des gaz dans la tubulure d'admission, puis le recul rapide du piston crée une baisse de pression dans la deuxième partie de AB :

$$p < p_a \text{ au point B}$$

2. Compression (courbe BC). La courbe de compression se trouve en dessous de la courbe théorique, puisque son point de départ B est en dessous de p_a . Elle est également modifiée par les échanges de chaleur.

3. Inflammation détente (courbe CDE). Pendant le temps que dure la combustion, le piston recule. La verticale va s'abaisser en une courbe dont la **pression maximale sera plus faible**. De plus, pendant la détente, les gaz chauds perdent une partie de leur chaleur. La pression décroît plus rapidement que dans le moteur théorique.

4. Échappement (courbe EA). La chute de pression se fait progressivement pour n'approcher la pression à l'admission qu'en fin de course du piston. Pendant toute la course, il règne une **contre-pression due à la poussée rapide du piston**.

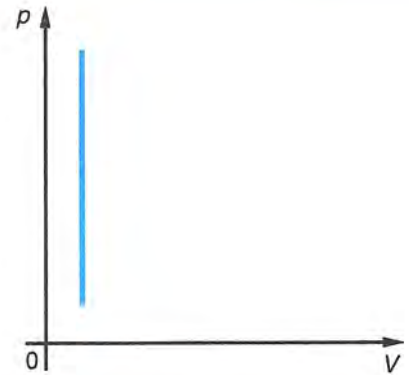


Figure 7.13 • Loi de Charles.

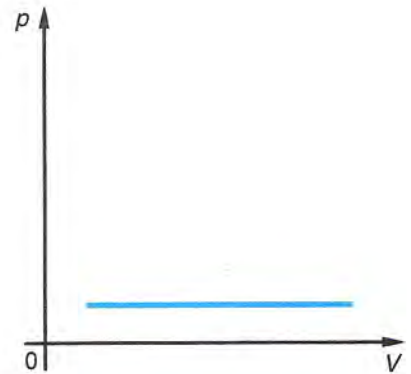


Figure 7.14 • Loi de Gay-Lussac.

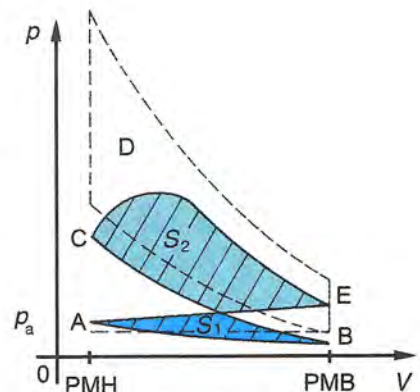


Figure 7.15 • Diagramme réel avant réglage.

■ Quelles conclusions peut-on tirer de cette observation ?

1. Les temps utiles perdent une partie de leur surface.
2. Les temps résistants augmentent (figure 7.15) :

$$S_2 - S_1 = \text{travail utile insuffisant}$$

■ Comment remédier à ces inconvénients ?

Il est nécessaire, pour remédier à ces inconvénients, d'**augmenter le temps d'ouverture des soupapes** afin d'éviter le freinage des gaz.

Le **point d'allumage devra être avancé** pour tenir compte du délai d'inflammation.

■ Découvrons les réglages à apporter au diagramme réel (figure 7.16).

• **Avance à l'ouverture de l'admission (AOA).** Cette avance évite l'arrêt de la veine gazeuse devant une soupape fermée et **améliore ainsi le taux de remplissage**.

La soupape d'admission s'ouvrira donc **avant** la fermeture complète de la soupape d'échappement. Il n'y a pas de risque de mélange avec les gaz d'échappement, car les gaz frais, par la vitesse acquise (inertie), chassent les gaz brûlés en pénétrant dans le cylindre.

Remarque

Le taux de remplissage est le rapport entre la quantité de mélange admis dans les cylindres et la quantité théoriquement admissible ; taux de remplissage maximal = 1 ; taux de remplissage moyen = 0,5.

• **Retard à la fermeture de l'admission (RFA).** On profite de l'inertie des gaz pour augmenter le remplissage et ne refermer la soupape qu'**après le PMB**. La diminution du temps de compression est compensée par une **pression de début de compression plus élevée**.

• **Avance à l'allumage (AA).** Elle permet de répartir l'explosion de part et d'autre du PMH. La **pression maximale** se trouve ainsi augmentée.

• **Avance à l'ouverture de l'échappement (AOE).** Elle permet d'avancer la chute de pression des gaz brûlés afin de limiter leur tendance à la contre-pression.

• **Retard à la fermeture de l'échappement (RFE).** On profite de l'inertie des gaz pour faciliter leur **évacuation complète**. La soupape d'échappement se fermera donc au début du temps admission.

Remarque

L'aire S_2 a augmenté, l'aire S_1 a diminué. Le **travail utile** du moteur est **plus important** (figure 7.17).

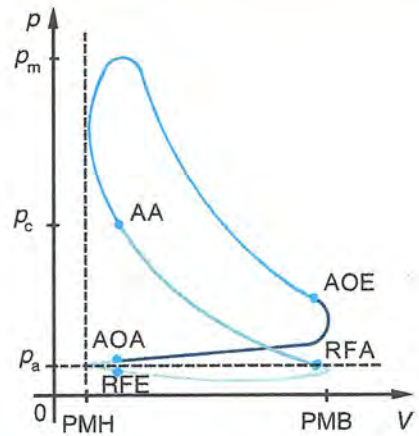


Figure 7.16 • Diagramme réel après réglage.

3

Le fonctionnement du moteur

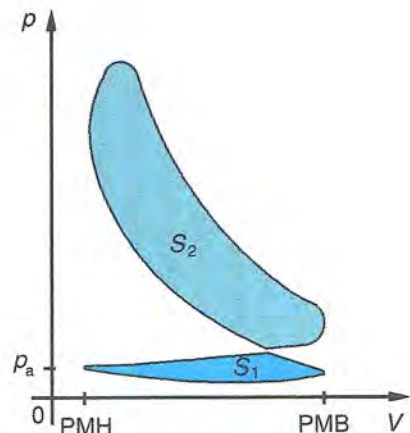


Figure 7.17 • Comparaison des aires du diagramme.

Mémo

● Principe du cycle à quatre temps

Le cycle à quatre temps s'effectue en quatre courses de piston, soit deux tours de vilebrequin.

La rotation du vilebrequin pendant le cycle est égale à : $360^\circ \times 2 = 720^\circ$.

Le temps moteur est le troisième temps : inflammation-détente.

Les trois autres temps – admission, compression et échappement – sont appelés temps résistants.

● Diagramme théorique

Diagramme idéal ne tenant pas compte de certains phénomènes se produisant dans le cylindre.

On place les variations de volume en abscisses (horizontalement) et les variations de pression en ordonnées (verticalement).

● Notions de travail

Le travail moteur est calculé par la formule $W = Fd$.

Le travail utile du moteur est égal à l'aire totale du diagramme moins l'aire représentée par les temps résistants.

● Lois de thermodynamique

Mariotte : évolution isotherme ($pV = C^{te}$).

Poisson : évolution adiabatique ($pV^\gamma = C^{te}$).

Charles : évolution isochore (à volume constant).

Gay-Lussac : évolution isobare (à pression constante).

● Critique du diagramme théorique

Les hypothèses de départ ne sont pas vérifiées :

- l'ouverture des soupapes n'est pas instantanée ;
- la combustion ne se fait pas dans un temps nul ;
- la pression ne s'équilibre pas dès qu'une soupape est ouverte ;
- il se produit des échanges de chaleur avec l'extérieur.

● Diagramme réel avant réglage

Travail utile insuffisant et temps résistants trop importants.

● Diagramme réel après réglage

- Avance à l'ouverture de l'admission (AOA) avant le PMH et retard à la fermeture de l'admission (RFA) après le PMB : l'amélioration du remplissage permet d'obtenir une pression de début de compression plus élevée.
- L'avance à l'allumage (AA) répartit la combustion de part et d'autre du PMH : il se produit une augmentation de la pression et de la durée du temps de détente.
- Avance à l'ouverture de l'échappement (AOE) avant le PMB et retard à la fermeture de l'échappement (RFE) après le PMH.
- Diminution de l'aire des temps résistants.

● Dispositions technologiques

Dans les moteurs, ces réglages sont réalisés par la distribution.

Testez vos connaissances

1. Lors d'un cycle à 4 temps, le piston fait :
 - ☐ a. 2 courses
 - ☐ b. 4 courses
 - ☐ c. 8 courses
2. Lors d'un cycle à 4 temps, le vilebrequin fait :
 - ☐ a. 1 tour
 - ☐ b. 2 tours
 - ☐ c. 4 tours
3. Le temps moteur est le temps :
 - ☐ a. de compression
 - ☐ b. d'explosion-détente
 - ☐ c. d'échappement
4. On obtient un meilleur remplissage du moteur en augmentant l'angle :
 - ☐ a. AOA
 - ☐ b. AOE
 - ☐ c. RFE
5. Au temps de compression, la pression et la température des gaz :
 - ☐ a. augmentent
 - ☐ b. diminuent
 - ☐ c. restent constantes

Pour aller plus loin

1. Sachant que la pression de début de compression d'un moteur est de 1 bar et sa cylindrée unitaire de 400 cm^3 , calculez la pression de fin de compression sachant que v est égal à 40 cm^3 . Nous supposons que la température reste constante.
2. Quelles modifications faudra-t-il apporter aux aires des diagrammes pour augmenter le travail utile des moteurs ?
3. Recherchez dans des manuels techniques les réglages de la distribution sur deux moteurs de votre choix.
4. Indiquez le type du moteur et la valeur des réglages pour chacun d'eux.

Maintenance

Sur le plan pratique, il est nécessaire d'étudier la fiche de niveau 2 suivante du manuel de Maintenance automobile : le savoir-faire :

- Fiche n° 30 - Contrôler les compressions.

8

L'épure de distribution

■ Rappelons quels sont les réglages apportés au moteur afin d'augmenter son travail.

Pour le temps admission :

AOA = avance à l'ouverture de l'admission,

RFA = retard à la fermeture de l'admission.

Pour le temps échappement :

AOE = avance à l'ouverture de l'échappement,

RFE = retard à la fermeture de l'échappement.

■ Quelles sont les positions respectives du piston aux points d'ouverture et de fermeture des soupapes ?

Le piston se trouve quelques millimètres **avant** ou **après les points morts** au moment des avances et des retards (figure 8.1).

Exemple

En AOA, le piston se trouve **quelques millimètres avant** le PMH, vers la fin du temps échappement du cycle précédent.

On observe que dans cette position, le **maneton de bielle** se trouve positionné **quelques degrés avant** la verticale.

En constatant qu'à chaque position du piston correspond une position angulaire du vilebrequin, nous pouvons indiquer les valeurs des réglages :

- soit en millimètres de course du piston,
- soit en degrés de rotation du vilebrequin.

Si nous supposons que la maneton de bielle laisse une trace sur son sillage pendant sa rotation, nous pouvons tracer l'**épure circulaire des angles de distribution**.

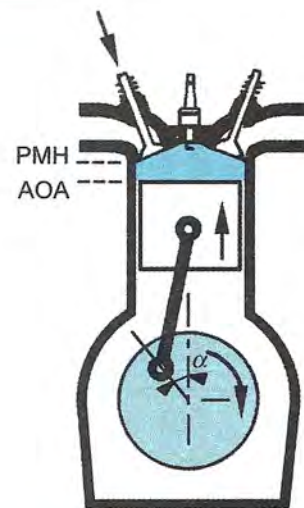
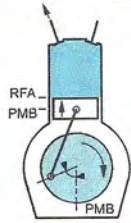
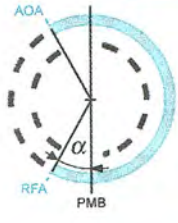
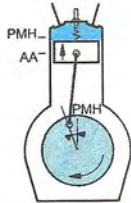
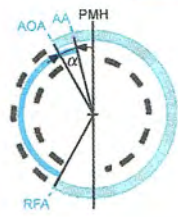

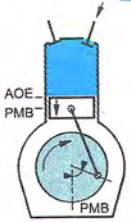

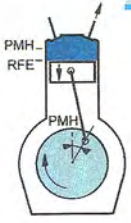
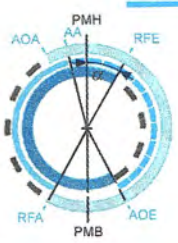


Figure 8.1 • Positions respectives des éléments en AOA.

■ Qu'est-ce que l'épure circulaire ?

L'épure circulaire des angles de distribution est la représentation graphique qui permet de visualiser les angles de la distribution d'un moteur (figures 8.2 à 8.12).

Réglage temps	Position piston	Position vilebrequin	Position relative soupape-piston-vilebrequin	Tracé de l'épure circulaire
AOA début admission	x millimètres avant PMH	x degrés avant PMH		

Réglage temps	Position piston	Position vilebrequin	Position relative soupape-piston-vilebrequin	Tracé de l'épure circulaire
RFA fin adm.	x millimètres après PMB	x degrés après PMB	 Fig. 8.4	 Fig. 8.5
AA fin comp.	x millimètres avant PMH	x degrés avant PMH	 Fig. 8.6	 Fig. 8.7
Inflam. détente			Temps moteur	 Fig. 8.8
AOE début échap.	x millimètres avant PMB	x degrés avant PMB	 Fig. 8.9	 Fig. 8.10
RFE fin échap.	x millimètres après PMH	x degrés après PMH	 Fig. 8.11	 Fig. 8.12

Nous constatons que, comme dans le diagramme réel, le temps d'échappement se termine alors que le temps d'admission est déjà commencé.

On appelle ce point le **croisement des soupapes**, ou **balance des soupapes**.

Les épures peuvent posséder des angles indifférents (épures asymétriques) (figure 8.13) ou des angles tels que $AOA = RFE$ et $AOE = RFA$ (épures symétriques) (figure 8.14).

Remarque

Les épures circulaires se représentent toujours en tournant vers la droite quel que soit le sens réel de rotation du moteur.



Figure 8.13 • Épure asymétrique.

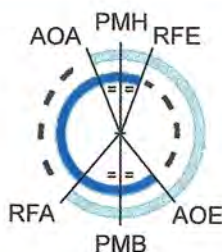


Figure 8.14 • Épure symétrique.

■ Quel est le moyen technique utilisé pour commander les soupapes ?

Chaque soupape est commandée par une came (figure 8.15). L'ensemble des cames est monté sur un arbre appelé arbre à cames.

Les cames permettent de transformer le mouvement de rotation de l'arbre en un mouvement rectiligne alternatif des soupapes.

■ Comment les angles de distribution sont-ils réalisés ?

L'ensemble arbre à cames-vilebrequin devra posséder un système de **liaison** parfaitement **synchronisé**.

■ Quelle devra être la vitesse de rotation de l'arbre à cames par rapport à celle du vilebrequin ?

Si nous observons l'épure circulaire, nous voyons que, sur les deux tours de vilebrequin, chaque soupape – admission ou échappement – ne s'ouvre qu'une fois. **L'arbre à cames devra donc tourner à demi-vitesse du vilebrequin** (figure 8.16).

Le cycle à quatre temps est réalisé en **deux tours de vilebrequin (720°) et un tour d'arbre à cames (360°)**.

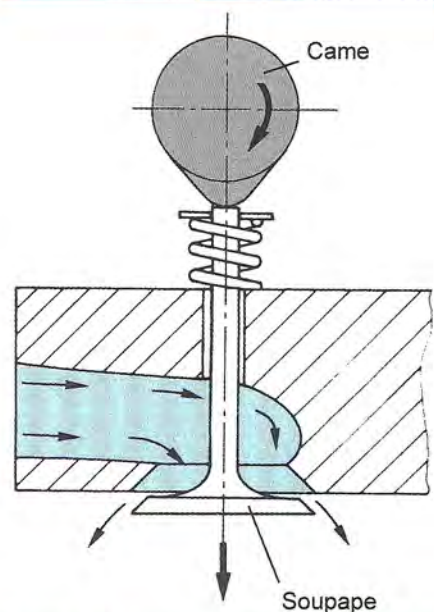


Figure 8.15 • Commande des soupapes.

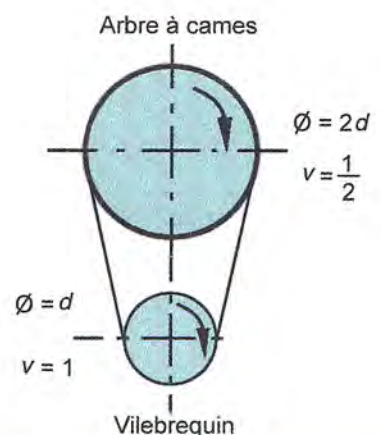


Figure 8.16 • Liaison arbre à cames-vilebrequin.

■ Quel sera l'angle de rotation de l'arbre à cames pour chaque temps ?

Exemple (figure 8.17)

Si $AOA = 15^\circ$ et $RFA = 45^\circ$, l'angle total parcouru pendant l'admission par le vilebrequin est :

$$15 + 180 + 45 = 240^\circ.$$

L'angle parcouru par le vilebrequin pendant un temps est égal à : angle d'avance à l'ouverture + 180° + angle de retard à la fermeture :

$$\alpha_{\text{vileb}} = AOA + 180^\circ + RFA$$

Puisque, lorsque le vilebrequin fait un tour, l'arbre à cames n'en fait qu'un demi, si le vilebrequin tourne de 240° , l'arbre à cames tournera de : $240/2 = 120^\circ$ (figure 8.18).

L'angle parcouru par l'arbre à cames pendant un temps est égal à : angle parcouru par le vilebrequin divisé par deux :

$$\alpha_{\text{arbre à cames}} = \alpha_{\text{vileb}} / 2$$

■ Comment les cames d'admission et d'échappement sont-elles positionnées l'une par rapport à l'autre ?

Dans le cycle moteur, les quatre temps se succèdent dans l'ordre suivant : admission, compression, explosion-détente et échappement. Les temps dans lesquels il y a un mouvement de soupape sont l'admission et l'échappement (figure 8.19).

Le cycle recommençant après chaque temps d'échappement, **le temps qui précède l'admission est l'échappement du cycle précédent.**

Les soupapes s'ouvriront donc dans l'ordre **échappement-admission.**

La came d'**échappement** sera positionnée environ un **quart de tour en avant de la came d'admission** dans le sens de rotation de l'arbre à cames (figure 8.20).

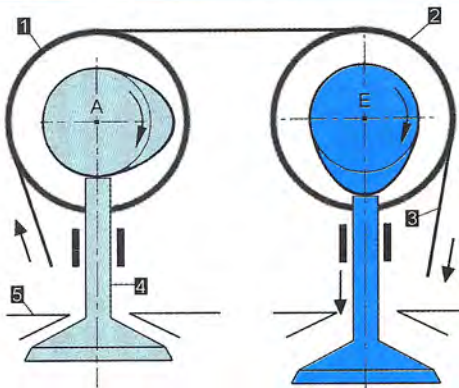


Figure 8.20 • Calage des cames d'admission par rapport aux échappements dans un moteur à 2 arbres à cames ($\approx 1/4$ de tour).

- ① Pignon d'arbre à cames d'admission.
- ② Pignon d'arbre à cames d'échappement.
- ③ Chaîne ou courroie de distribution.
- ④ Soupape.
- ⑤ Siège de soupape.

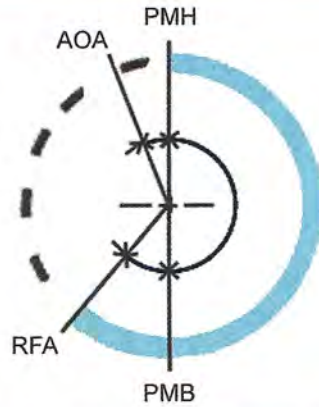


Figure 8.17 • Angle du temps d'admission.
 $\alpha_{\text{vileb}} = AOA + 180^\circ + RFA$

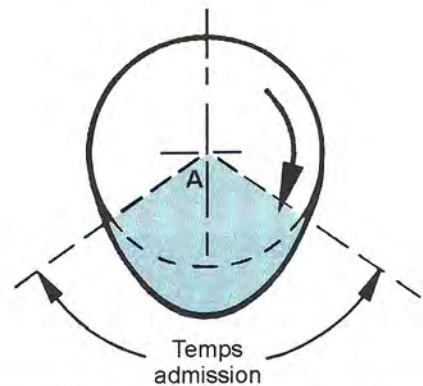


Figure 8.18 • Angle du temps d'échappement.

$$\alpha_{\text{arbre à cames}} = \frac{\alpha_{\text{vileb}}}{2}$$

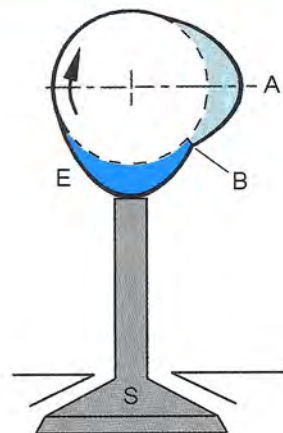


Figure 8.19 • Calage des cames sur le même arbre à cames.

- E. Came d'échappement.
- S. Soupape d'échappement.
- A. Came d'admission calée à $\approx 1/4$ de tour.
- B. Point appelé point de balance des soupapes (fin d'échappement → début d'admission).

Mémo

● Présentation

L'épure circulaire est la représentation graphique des angles de la distribution.

Les angles sont exprimés en degrés d'avance ou de retard par rapport aux points morts.

Angle AOA : x degrés avant PMH.

Angle RFA : x degrés après PMB.

Angle AOE : x degrés avant PMB du second tour.

Angle RFE : x degrés après PMH.

● Réalisation pratique

L'ouverture et la fermeture des soupapes sont commandées par des cames montées sur un arbre à cames.

L'arbre à cames est synchronisé avec le vilebrequin.

L'arbre à cames tourne à demi-vitesse du vilebrequin.

● Synchronisation des mouvements

L'angle parcouru par le vilebrequin pendant un temps est égal à :

angle d'avance à l'ouverture + 180° + angle de retard à la fermeture.

L'angle parcouru par l'arbre à cames pendant ce même temps est égal à :

angle parcouru par le vilebrequin divisé par deux.

Les cames d'admission et d'échappement sont calées à environ 90° l'une de l'autre dans l'ordre échappement puis admission.

Testez vos connaissances

1. À quelle vitesse tourne l'arbre à cames par rapport au vilebrequin ?

- ☐ a. à la même vitesse
☐ b. 2 fois moins vite
☐ c. 2 fois plus vite

2. Quel est l'organe moteur qui permet l'ouverture et la fermeture des soupapes ?

- ☐ a. l'arbre à cames
☐ b. le vilebrequin
☐ c. le piston

3. Lorsque deux soupapes d'un même cylindre s'ouvrent immédiatement l'une après l'autre, elles s'ouvrent dans l'ordre :

- ☐ a. admission/compression
☐ b. admission/échappement
☐ c. échappement/admission

4. Quelle est la position du piston au point AOE ?

- ☐ a. avant le PMH
☐ b. avant le PMB
☐ c. au PMH

Pour aller plus loin

1. Donnez les positions respectives du maneton de bielle et de la soupape d'échappement en AOE et tracez le schéma correspondant.
2. Donnez l'angle parcouru par la came d'échappement dans le cas où $AOE = 60^\circ$ et $RFE = 20^\circ$.
3. Relevez les valeurs des angles d'un moteur dont l'épure de distribution est symétrique et ceux d'un moteur dont l'épure est asymétrique.
Tracez les épures circulaires correspondantes.

9

Les éléments de la distribution

On nomme **distribution** l'ensemble des éléments qui permettent de réaliser l'**ouverture** et la **fermeture des cylindres** dans les conditions définies par l'épure circulaire du moteur.

■ Quels sont les principaux éléments de la distribution et leur fonction ?

La figure 9.1 décrit ces éléments de distribution.

Dans les moteurs à quatre temps, l'ouverture et la fermeture des cylindres sont réalisées par les **soupapes 6**.

Une ouverture est réalisée par des cames montées sur un ou plusieurs **arbres à cames 3**.

La fermeture est assurée, en général, par des ressorts de rappel nommés **ressorts de soupapes 5**.

Des **poussoirs 4** sont interposés entre les cames et les queues de soupape.

Remarque

Certains moteurs comportent un arbre à cames latéral. Dans ce cas, l'arbre à cames actionne les soupapes par l'intermédiaire des **tiges de culbuteur** et des **culbuteurs** (figure 9.2). On les nomme moteurs culbutés.

On peut également rencontrer des moteurs à arbre à cames en tête, équipés de culbuteurs (culbutés).

■ Quelles sont les positions possibles des arbres à cames ?

1. L'arbre à cames est appelé « **en tête** » lorsqu'il est placé sur la culasse à proximité immédiate des soupapes.

La distance avec le vilebrequin est plus grande mais il y a peu de pièces en mouvement (figures 9.1 et 9.3).

Les jeux et les usures sont faibles.

2. L'arbre à cames est appelé « **latéral** » lorsqu'il est situé sur le **côté du bloc-moteur** (figure 9.4). La distance avec le vilebrequin est plus courte mais la liaison avec les soupapes comporte plus de pièces en mouvement. L'usure et les risques d'augmentation des jeux sont plus importants.

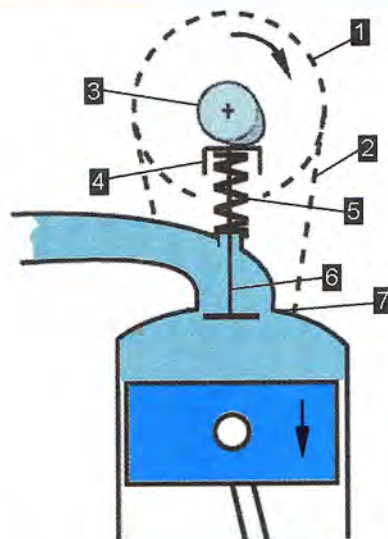


Figure 9.1 • Éléments de la distribution (arbre à cames en tête)

- ① Pignon d'arbre à cames.
- ② Chaîne ou courroie de distribution.
- ③ Arbre à cames.
- ④ Poussoir.
- ⑤ Ressort de soupape.
- ⑥ Soupape.
- ⑦ Siège de soupape.

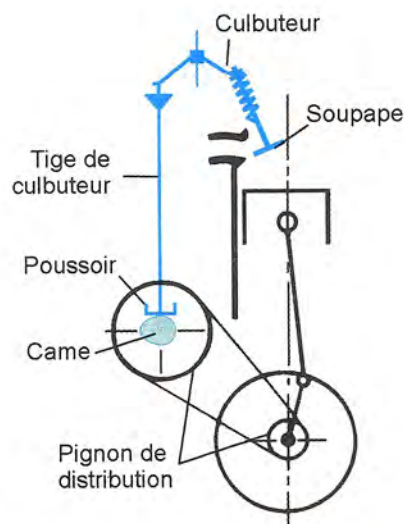


Figure 9.2 • Cas du moteur à arbre à cames latéral.

La vitesse de rotation est limitée par les risques de flambage (torsion) des tiges de culbuteurs.

Selon la disposition des cylindres et celle des soupapes, le moteur peut comporter un ou plusieurs arbres à cames :

- **moteur en ligne** : un ou deux arbres à cames,
- **moteur en V** : deux ou quatre arbres à cames.

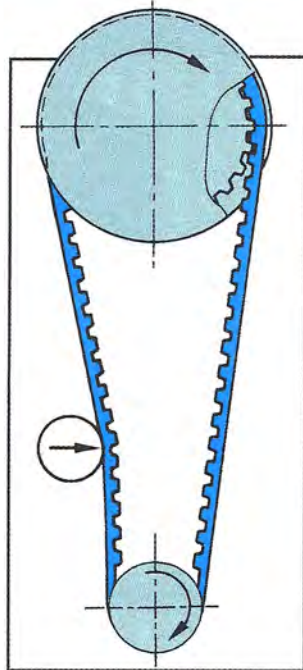


Figure 9.3 • Moteur à arbre à cames en tête.

Exemple de liaison par courroie crantée.

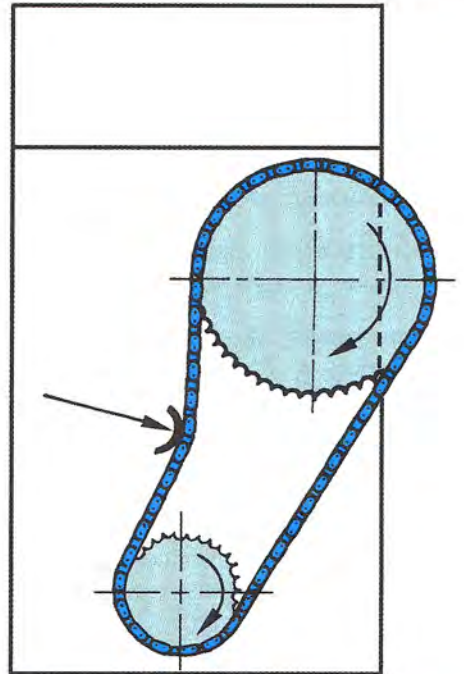
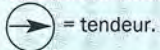


Figure 9.4 • Moteur à arbre à cames latéral.
Exemple de liaison par chaîne.

■ Quels sont les systèmes de liaison possibles entre l'arbre à cames et le vilebrequin ?

- Arbre à cames en tête : **chaîne** ou **courroie**.
- Arbre à cames latéral : **pignons** ou **chaîne**.

La courroie crantée présente l'avantage d'être plus silencieuse que la chaîne, elle ne nécessite pas de système de lubrification et est d'un remplacement plus aisé (tendeur).

■ Quels sont les différents procédés de fabrication et de montage des soupapes ?

Les soupapes sont exposées aux températures très élevées régnant dans la chambre de combustion (de l'ordre de 800 °C à l'ouverture de la soupape d'échappement).

La soupape d'échappement qui s'ouvre en fin de détente et laisse passer des gaz brûlants, sera plus exposée que la soupape d'admission relativement refroidie par les gaz frais.

La fabrication des soupapes nécessite donc l'emploi de métaux capables de résister à la déformation à **haute température** (fluage) et aux **chocs répétés**, tels les aciers austénitiques, les additifs comme le chrome, le nickel, le tungstène.

Les soupapes sont tournées puis rectifiées. Les queues et les portées reçoivent un traitement qui accroît leur dureté (stellitage).

Les soupapes couissent dans un **guide** réalisé en métal antifriction. Elles sont maintenues en position haute par un **ressort** et un **système de fixation** efficace (autobloquant).

La **portée conique** assure une étanchéité parfaite à la fermeture et un centrage correct évitant la déformation de la **tige** ou **queue** (figure 9.5).

■ Quels sont les angles de portées nécessaires ?

Si la forme conique présente les avantages de très bon centrage et d'étanchéité, on peut observer qu'elle nécessite un déplacement plus grand de la soupape avant son ouverture complète.

Les **angles de portée** sont d'environ 90°. Les soupapes d'admission qui subissent des températures moins élevées peuvent avoir un angle de 120°, protégeant moins bien la soupape des déformations, mais offrant, pour une même hauteur de levée, une section de passage de gaz plus importante (figure 9.6).

En effet, pour un même déplacement (h) de la soupape, nous pouvons constater que la section de passage (matérialisée par l'entrebâillement e et e') est supérieure avec une portée de 120°.

L'**arbre à cames** réalisé par moulage puis usiné (figure 9.7), comporte autant de cames qu'il y a de soupapes à actionner. Les surfaces frottantes sont traitées en général par cémentation.

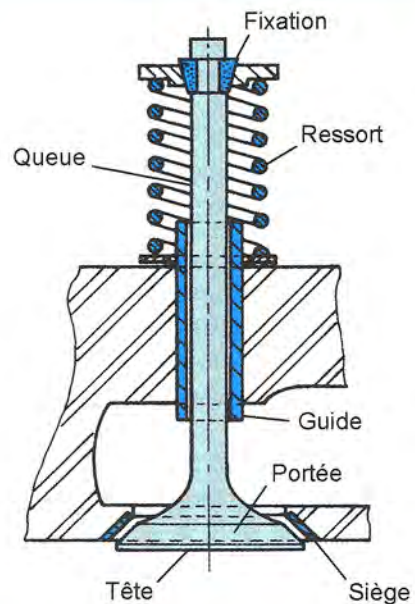


Figure 9.5 • Montage des soupapes.

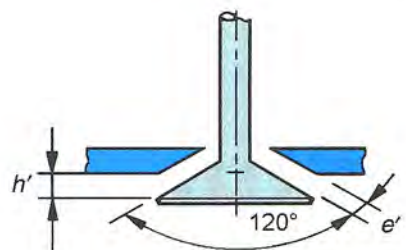
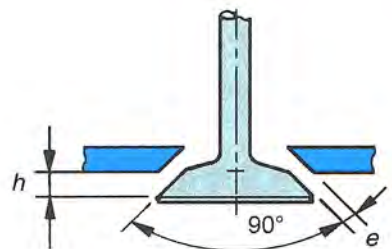


Figure 9.6 • Angles de portée.

Si l'angle de portée est plus grand (120°), avec $h' = h$, on a $e' > e$.

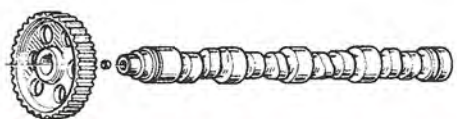


Figure 9.7 • Arbre à cames (document Renault).

■ Quelle doit être la forme des cames ?

Afin de permettre un passage de gaz correct, les cames devraient posséder une **levée** maximale **importante**. Mais cette hauteur est limitée par le **dégagement** insuffisant dans la chambre et par les **accélérations** importantes produites par un profil de came dont les rampes sont trop verticales.

Pour une hauteur de levée identique et un angle donné, on obtiendra une **rampe** moins verticale en augmentant le **diamètre primitif** de la came (figure 9.8). On obtiendra le même résultat (pour un même diamètre primitif) en augmentant l'**angle d'ouverture** (épure circulaire).

■ Quels sont les problèmes rencontrés par les constructeurs ?

L'idéal serait :

- l'ouverture instantanée de la soupape,
- son maintien ouvert pendant tout le temps d'admission ou d'échappement,
- sa fermeture instantanée.

Ceci ne peut pas être réalisé par un système mécanique tel que la came.

La **came** doit **parcourir un certain angle** de rotation **avant l'ouverture complète** de la soupape.

Si la rampe est trop brutale, les **accélérations** de la soupape lui feront acquérir une **énergie cinétique** qui sera proportionnelle au carré de la vitesse acquise et à la moitié de la **masse** de la soupape :

$$E_c = \frac{MV^2}{2}$$

Pour obtenir un passage de gaz suffisant, les constructeurs peuvent monter deux soupapes à la place d'une. Les avantages sont :

- la diminution de la masse de chaque soupape,
- la diminution de la hauteur de levée de came, puisque la section de passage est plus importante (grâce aux deux sections de passage).

■ Quels sont les problèmes rencontrés avec les ressorts ?

Les ressorts de rappel les plus couramment utilisés sont les **ressorts à boudin** (hélicoïdaux).

Lorsqu'on comprime un ressort à une **fréquence** élevée, celui-ci risque d'entrer en **résonance**.

Il présente alors de graves perturbations (durcissement, rupture).

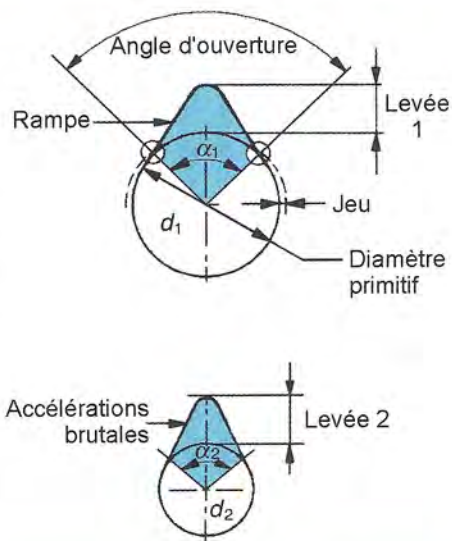


Figure 9.8 • Forme des cames.

$\alpha_1 = \alpha_2$
 Levée 1 = Levée 2
 $d_1 > d_2 \Rightarrow$ accélérations de la soupape moins brutales avec d_1 .



Figure 9.9 • Arbre à cames et culbuteurs.
 (document Citroën).

La fréquence d'entrée en résonance est variable en fonction des caractéristiques du ressort (diamètre de fil, hauteur, etc.). En automobile, on appelle les phénomènes d'entrée en résonance des ressorts et d'inertie des soupapes : **affolement des soupapes** (figure 9.10). Celui-ci se produit notamment lorsque le moteur dépasse sa vitesse de rotation maximale (surrégime).

■ Comment pallier cet inconvénient ?

Il n'est pas possible de supprimer l'entrée en résonance d'un ressort, mais on peut reporter cette limite au-delà du régime maximal du moteur.

Les constructeurs utilisent notamment :

- des **ressorts à pas variable** (figure 9.11),
- **deux ressorts antagonistes** (figure 9.12).

On peut rencontrer également des **barres de torsion** (figure 9.13).

Pour supprimer totalement le phénomène, certains constructeurs utilisent la **commande desmodromique** (figure 9.14). Ce système comporte deux cames :

- une came d'ouverture classique,
- une came de fermeture.

Il est peu répandu en raison de sa complexité et de son prix de revient.

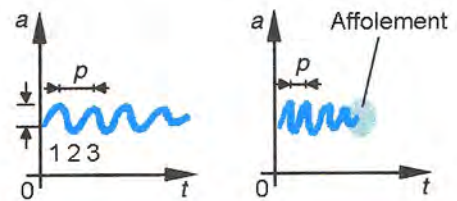
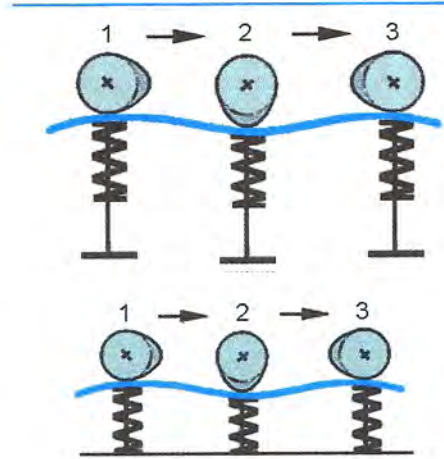


Figure 9.10 • Décomposition du phénomène d'affolement des ressorts de soupape.

Si t diminue, les phases 1, 2, et 3 se rapprochent.
 a = amplitude, p = période,
 fréquence = x périodes (hertz) par seconde.
 Plus le temps imparti à la réalisation des phases diminue, plus la fréquence augmente.

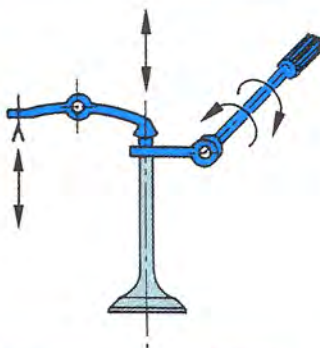


Figure 9.13 • Barre de torsion.

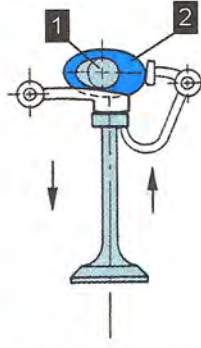


Figure 9.14 • Commande desmodromique.

- 1 Came d'ouverture.
- 2 Came de fermeture.

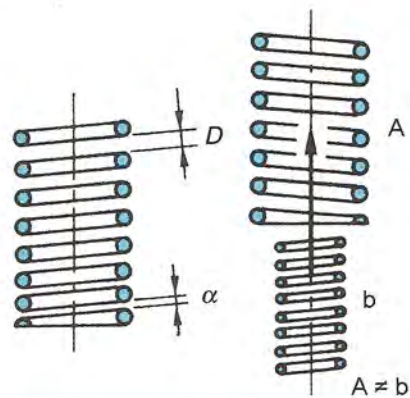


Figure 9.11 • Ressorts à pas variable.

Figure 9.12 • Ressorts antagonistes.

■ Quels sont les rôles des poussoirs ?

1. Les poussoirs servent d'**intermédiaire direct** ou **indirect** entre les queues de soupape et les cames de l'arbre à cames.

2. Les ressorts de rappel des soupapes offrent une force résistante importante.

La surface importante du contact came/poussoir permet de diminuer la force pressante unitaire et diminue ainsi le frottement et l'usure (figure 9.15).

Remarque

Hormis les courroies crantées, tous les éléments frottants de la distribution sont lubrifiés par le système de graissage (→ Leçon 12).

■ Jeu de fonctionnement.

Il doit exister un jeu fonctionnel entre la soupape et sa commande afin :

- d'assurer une **étanchéité parfaite** des cylindres quelles que soient les dilatations,
- de **respecter** avec précision les **points d'ouverture et de fermeture** définis par le constructeur.

■ Comment ce jeu fonctionnel est-il maintenu ?

Si le moteur est équipé de culbuteurs, arbre à cames latéral (figure 9.16) ou en tête à attaque directe (figure 9.17), le réglage s'effectue sur le culbuteur lui-même.

■ L'épure circulaire est-elle toujours respectée ?

Dans le cas des moteurs « culbutés », le martèlement de la tête du culbuteur sur la queue de soupape produit, à l'usure, un certain « **marquage** ». Ce phénomène a pour conséquence d'**augmenter le jeu de fonctionnement** (❶ et ❷, figure 9.17).

On voit que la came devra **tourner plus** pour rattraper ce jeu supplémentaire avant d'attaquer réellement l'ouverture de la soupape. Pour la même raison, la soupape se fermera plus tôt. Il en résulte donc une **diminution de l'angle total d'ouverture**, définie par l'épure circulaire.

■ Quels sont les avantages de l'attaque directe de la came sur le poussoir ?

Les moteurs à **arbre à cames à attaque directe** permettent :

- une diminution du nombre de pièces en mouvement,
- une diminution de l'usure,
- la fiabilité de ce système à long terme.

Le réglage du jeu peut s'effectuer en remplaçant les pastilles existantes par d'autres d'épaisseur différente (figure 9.18).

$$F_{p.u} = \frac{F}{S}$$

$F_{p.u}$ = Force pressante unitaire
 F = Force résistante des ressorts
 S = Surface de contact came/poussoir

Si $S \nearrow$ $F_{p.u} \searrow$

Figure 9.15 • Loi de Pascal.

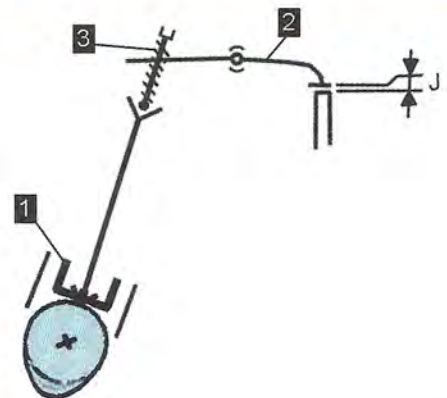


Figure 9.16 • Moteur à arbre à cames latéral culbuté.

- ❶ Poussoir simple.
- ❷ Culbuteur.
- ❸ Système de réglage.

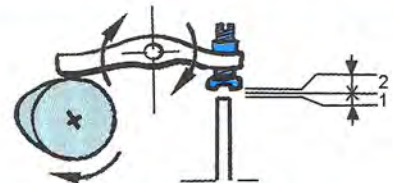


Figure 9.17 • Moteur à arbre à cames en tête.

- ❶ Jeu de marche.
- ❷ Usure.

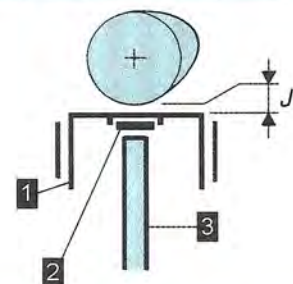


Figure 9.18 • Moteur à arbre à cames en tête à attaque directe.

- ❶ Poussoir.
- ❷ Pastille de réglage calibrée.
- ❸ Queue de soupape.

■ Quels sont les avantages des poussoirs hydrauliques ?

Les éléments qui constituent la chaîne de cote, culasse, soupape, poussoirs, ne se dilatent pas de façon identique car :

- ils ne sont pas soumis aux mêmes **températures**,
- leurs matériaux ne possèdent pas le même **coefficient de dilatation**.

Il en résulte donc des variations de jeu **à froid** et **à chaud**.

Les poussoirs hydrauliques ont pour avantage :

- de maintenir un **jeu de fonctionnement identique** à toutes les températures de fonctionnement,
- de rattraper l'usure, donc d'être **indéréglables**,
- de mieux **respecter l'épure** du constructeur.

■ Quel est le principe de fonctionnement des poussoirs hydrauliques (figures 9.19) ?

• **Ouverture de la soupape.** Le volume d'huile se trouvant dans la chambre ⑦ est mis sous pression par la **fermeture du clapet** ⑤. Une très **légère fuite** se produit avant la fermeture complète du clapet. Elle est calculée pour correspondre au jeu de fonctionnement. Le poussoir ②, dans son ensemble, **actionne la soupape** ⑧.

• **Fermeture de la soupape.** La came ① n'est plus active, un léger coulisement du cylindre ④ sur le piston ③ permet l'admission d'une petite quantité d'huile par différence de pression. Les jeux sont rattrapés à la prochaine ouverture. La **fuite calibrée** avant fermeture du clapet correspondra toujours au jeu de fonctionnement optimal.

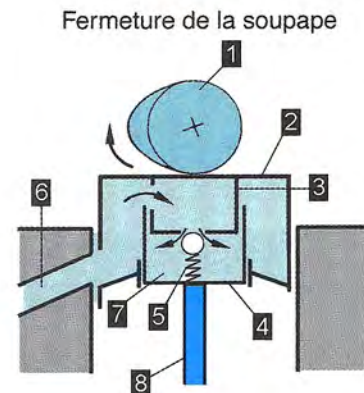
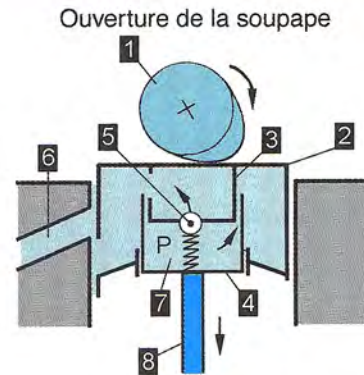


Figure 9.19 • Poussoir hydraulique.

- ① Came.
- ② Poussoir.
- ③ Piston.
- ④ Cylindre.
- ⑤ Ressort et clapet.
- ⑥ Pression d'huile.
- ⑦ Chambre de pression.
- ⑧ Queue de soupape.

Mémo

La distribution est l'ensemble des éléments qui réalisent l'ouverture et la fermeture des cylindres.

Dans les moteurs à quatre temps, cette fonction est remplie par les soupapes, commandées par les cames de l'arbre à cames.

Les éléments intermédiaires sont différents selon le type de moteur.

• Soupapes

- Constitution : tête large mais limitée par son encombrement et sa masse ; portée conique, angle de 90 à 120°.
- Fabrication : acier au nickel, chrome, tungstène, molybdène ou acier austénitique.

• Cames

Le profil est adapté à la hauteur de levée, à l'angle d'ouverture défini par l'épure circulaire, ainsi qu'à la vitesse de rotation du moteur.

Mémo (suite)

● Ressorts de soupape

Ils sont en général à boudin ou hélicoïdaux. Le fonctionnement de chaque ressort est limité par sa fréquence d'entrée en résonance. Pour pallier cet inconvénient, les constructeurs utilisent : des ressorts à pas variables, antagonistes ou des commandes desmodroniques.

● Éléments intermédiaires

Les poussoirs limitent l'usure des cames et les queues de soupape. Ils peuvent être simples, à réglage par pastilles ou hydrauliques. Les poussoirs hydrauliques maintiennent un jeu de fonctionnement correct à toutes les températures.

● Jeu de fonctionnement

Le jeu aux soupapes permet :

- d'assurer l'étanchéité à toutes les températures,
- de régler avec précision les angles de distribution.

● Positions de l'arbre à cames

Latéral, en tête avec ou sans culbuteurs ; un, deux ou quatre arbres à cames.

● Systèmes de liaison

Engrenages, pignons reliés par chaîne ou par courroie crantée.

Testez vos connaissances

1. Lorsque le moteur tourne à 3 000 tr/min, chaque soupape s'ouvre et se referme combien de fois par minute ?

- ☐ a. 1 500 fois
☐ b. 3 000 fois
☐ c. 6 000 fois

2. Dans l'exemple précédent, quel est le délai entre deux ouvertures de soupape ?

- ☐ a. 1 seconde ☐ b. 1/50 de seconde
☐ c. 1/25 de seconde

3. Dans un moteur à arbre à cames en tête à attaque directe, le jeu se règle par :

- ☐ a. des vis aux culbuteurs ☐ b. des pastilles calibrées ☐ c. la courroie de distribution

4. Si le jeu d'une commande de soupape est trop grand, le temps d'ouverture de la soupape :

- ☐ a. augmente ☐ b. diminue
☐ c. reste inchangé

Pour aller plus loin

1. Citez un type de moteur avec arbre à cames en tête avec culbuteurs, et un type avec arbre à cames à attaque directe.
2. Relevez toutes les caractéristiques de leur système de distribution.

Maintenance

Sur le plan pratique, il est nécessaire d'étudier les 3 fiches suivantes du manuel de *Maintenance automobile : le savoir-faire* :

- Fiche n° 8 - Régler le jeu aux soupapes - Niveau 1.
- Fiche n° 32 - Contrôler et remplacer des soupapes - Niveau 2.
- Fiche n° 36 - Caler la distribution - Niveau 2.

9

Les éléments de la distribution

On nomme **distribution** l'ensemble des éléments qui permettent de réaliser l'**ouverture** et la **fermeture des cylindres** dans les conditions définies par l'épure circulaire du moteur.

■ Quels sont les principaux éléments de la distribution et leur fonction ?

La figure 9.1 décrit ces éléments de distribution.

Dans les moteurs à quatre temps, l'ouverture et la fermeture des cylindres sont réalisées par les **soupapes 6**.

Une ouverture est réalisée par des cames montées sur un ou plusieurs **arbres à cames 3**.

La fermeture est assurée, en général, par des ressorts de rappel nommés **ressorts de soupapes 5**.

Des **poussoirs 4** sont interposés entre les cames et les queues de soupape.

Remarque

Certains moteurs comportent un arbre à cames latéral. Dans ce cas, l'arbre à cames actionne les soupapes par l'intermédiaire des **tiges de culbuteur** et des **culbuteurs** (figure 9.2). On les nomme moteurs culbutés.

On peut également rencontrer des moteurs à arbre à cames en tête, équipés de culbuteurs (culbutés).

■ Quelles sont les positions possibles des arbres à cames ?

1. L'arbre à cames est appelé « **en tête** » lorsqu'il est placé sur la culasse à proximité immédiate des soupapes.

La distance avec le vilebrequin est plus grande mais il y a peu de pièces en mouvement (figures 9.1 et 9.3).

Les jeux et les usures sont faibles.

2. L'arbre à cames est appelé « **latéral** » lorsqu'il est situé sur le **côté du bloc-moteur** (figure 9.4). La distance avec le vilebrequin est plus courte mais la liaison avec les soupapes comporte plus de pièces en mouvement. L'usure et les risques d'augmentation des jeux sont plus importants.

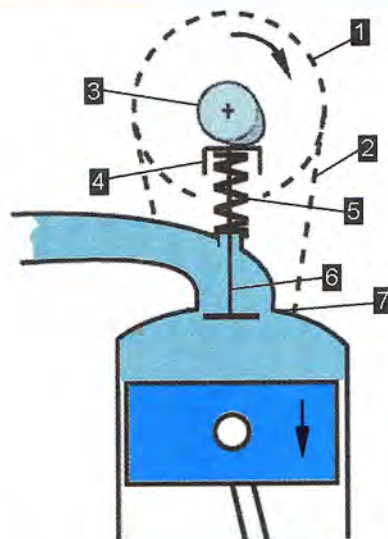


Figure 9.1 • Éléments de la distribution (arbre à cames en tête)

- ① Pignon d'arbre à cames.
- ② Chaîne ou courroie de distribution.
- ③ Arbre à cames.
- ④ Poussoir.
- ⑤ Ressort de soupape.
- ⑥ Soupape.
- ⑦ Siège de soupape.

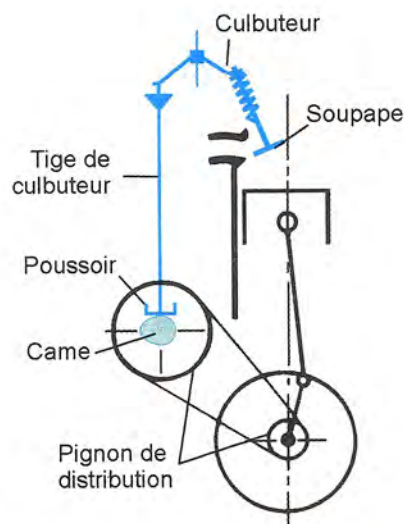


Figure 9.2 • Cas du moteur à arbre à cames latéral.

